

Janne Heilala

**SÄHKÖMUUNNOSAJONEUVON MITOITTAMINEN
NYKYTEKNOLOGIAN JA LAINSÄÄDÄNNÖN NÄKÖKULMISTA**

SÄHKÖMUUNNOSAJONEUVON MITOITUS NYKYTEKNOLOGIAN JA LAINSÄÄDÄNNÖN NÄKÖKULMISTA

Janne Heilala
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Auto- ja kuljetustekniikan suuntautumisvaihtoehto
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Janne Heilala

Opinnäytetyön nimi: Sähkömuunnosajoneuvon mitoitus nykYTEknologian ja lainsäädännön näkökulmista

Työn ohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018 Sivumäärä: 97 + 0 liitettä

Opinnäytetyössä perehdyttiin ajoneuvon sähkökäyttömuunnoksen toteuttamiseen. Muutostyölle esitettiin perusteita niin talouden kuin ympäristönkin näkökulmista. Dokumentointi on tehty siten, että lukija voi itse muodostaa näkemyksensä opinnäytetyön perusteella sähkömuunnosajoneuvojen nykYTEknologian tilasta. Työn on tilannut opinnäytetyön tekijä omaan yritykseensä tavoitteenaan saada mahdollisimman realistinen käsitys sähköajoneuvoihin sovelluskelpoisesta tekniikasta, teoriasta sekä lainsäädännöstä.

Työ on metodologialtaan toteutettu teorian ohjaamana ja jaettu kolmeen osa-alueeseen. Ensiksi tarkastellaan sähkömuunnoksen vaatimia komponentteja ja pyritään liittämään niiden toiminta arkitietoon selittämällä ja kuvaamalla niiden toimintaa ja suhteita. Toiseksi tutkitaan ajoneuvon ajodynamiikkaa, jonka avulla voidaan testata sähkömoottorin kelpoisuus mihin tahansa ajoneuvokonstruktion. Kolmas osa sisältää lainopillisen tarkastelun. Tavoitteena on selvittää Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission ja Suomen lainsäädännön säätämät edellytykset muunnoksen tekemiselle ja liiketoiminnalle.

Tutkimuksen tuloksina voidaan lyhyesti esittää, ettei sähkömuunnos ole taloudellisesti kannattava toteuttaa mihin tahansa ajoneuvoon. Muutos on kuitenkin mahdollista toteuttaa perustellusti tutkimuksen mukaisilla menetelmillä. Ensiksi on oleellista mallintaa ajoneuvo ja sähkömoottori matematiikan avulla. Toiseksi varmistetaan lainopillinen kelpoisuus tyyppihyväksynnällä. Kolmanneksi rakennetaan muunnosajoneuvo. Viimeisimpänä toteutetaan muutostarkastus ja otetaan ajoneuvo tieliikenteeseen.

Toteuttaminen on toistaiseksi vielä ympäristön kannalta kestävämpiä. Työn luotettavuus perustuu lukijan rakentamaan mielikuvaansa tekstistä. Opinnäytetyö pyrkii ohjaamaan objektiivisesti lähdeteosten ja WWW-lähteiden suuntaan kirjoittajan loogisen päättelyn ohjaamana. Tutkimusta pitäisi laajentaa opinnäytetyön ulkopuolella tehtäviin käytännön tutkimuksiin ja prototyyppien rakentamiseen.

Asiasanat: sähköajoneuvo, muutostyö, muunnossähköajoneuvo, ajotilatutkimus, sähkömoottorimitoitus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences

Mechanical Engineering, Vehicle and Transportation Engineering

Author: Janne Heilala

Title of thesis: Electric Vehicle Conversion from the View of Modern Technology, Motor Sizing and Legislation

Supervisor(s): Janne Ilomäki

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018 Pages: 97 + 0

This research main goal is to focus on basics of mechanical to electric vehicle conversions. Internal combustion engines have challenging times to pass changing environmental requirements. One possible answer for healthier environment might be electricity vehicles. This documentation main purpose is to give as objective view as possible to its reader. Reader should be able to formulate his/her views on the presented state of the applied automotive technology.

Research consist of three main segments: 1.) the study of electric vehicle main components, usability and theorem cited in temporal context, 2.) dimensioning of the vehicle dynamically based on text sources to decide right propulsion motor, 3.) create a comprehensive view for electric vehicle homogenization and legislation inside EU and more specifically in Finnish legislation context.

As a result of the study can be briefly presented that the electric vehicle conversion is easily achievable in conceptual level. Its implementation is still unsustainable from the environmental aspect. Reliability of the study is based on the reader's own image of the context of the text. The text attempts to guide objectively as possible the information of the capable sources by the author's logical reasoning. Research should be extended beyond the thesis by applying them in practical way. There is also more possible topics for further examining of the electric vehicle conversion.

Keywords: EV, electric vehicle, EV conversion, electric propulsion sizing

SISÄLLYS

SISÄLLYS	5
MERKKIEN SELITYKSET JA SANASTO	8
1 JOHDANTO	12
1.1 Tutkimuksen taustaa	12
1.2 Kartoitusta tehdyistä päättötutkielmista	13
1.3 Opinnäytetyön rakenne	14
2 SÄHKÖAJONEUVOT YLEISESTI	16
2.1 Sähköajoneuvojen yleisimmät arkkitehtuurit	16
2.2 Ajoneuvojen erot ja yhtäläisyydet	16
2.3 Sähkömuunnoksen hyödyt kevyille ja raskaille maantiekuljettimille	17
2.4 Talousnäkymät tutkimukselle globaalista näkökulmasta	18
2.4.1 Talousennusteet	18
2.4.2 Markkinaevoluutio	19
3 SÄHKÖAJONEUVOJEN TEKNIikka	21
3.1 Ajojärjestelmän arkkitehtuurit	21
3.2 PMDC ja AC	21
3.3 Kontrollointijärjestelmät	24
3.4 Akut	26
3.4.1 Akkujärjestelmistä yleisesti	26
3.4.2 Akuston suorituskyky	28
3.4.3 Vaatimuksia ja vertaamisen menetelmiä	29
3.4.4 Akustonhallinta	31
3.5 Lataaminen	32
3.5.1 Latausasemat	32
3.5.2 Pistoketyypit	34
3.6 Lisävarusteet	36
3.7 Tekniikan analyysi	38
4 JARRUKONSTRUKTIO- JA AJOTILATUTKIMUS	40
4.1 Mitoituksen yleiskuva	40
4.2 Mitoitusmetodologia	42
4.2.1 Jarrukonstruktion muutos	42

4.2.2	Kokonaisajovastukset	44
4.2.3	Vetovoimareservi	46
4.2.4	Kiihdytysvastus	47
4.2.5	Inertian huomioiminen.....	47
4.2.6	Moottorin suorituskyky sovitettuna voimansiirtovälitykseen	48
4.2.7	Ajokäyttäytymisen simulointi ja ennakointi	48
4.3	Mitoituksen analyysi	50
4.3.1	Akselikuormitukset ja jarrutussuureet	50
4.3.2	Sähkömuunnoksen selvitys	51
4.3.3	Muunnoksen vertaaminen.....	56
5	MUUNNOSTYÖHÖN SOVELLETTAVA LAINSÄÄDÄNTÖ	62
5.1	Ajoneuvolain ja kansallisten lakien käytön perusteleminen	62
5.1.1	Ajoneuvokäsite lainsäädännön mukaan.....	62
5.1.2	Muutos- ja rekisteröintikatsastus.....	63
5.1.3	Ajokielto	64
5.2	Muunnoksen toteuttaminen	65
5.2.1	Rakenteen muuttaminen	65
5.2.2	Vaatimustenmukaisuus	66
5.3	Vaatimukset ajoneuvoon asennettaville osille	66
5.3.1	EMC-mittaukset	66
5.3.2	Lämmitysjärjestelmä ja ilmastointi.....	67
5.3.3	Muunnososien kansalliset vaatimukset.....	67
5.3.4	E100-sääntö.....	68
5.3.5	Ajo-ominaisuudet ja aktiivinen ajotilavalinta	68
5.3.6	Sähköturvallisuus	69
5.3.7	Mittaukset	70
5.4	Liiketoiminnan ja toteutuksen kannalta	70
5.4.1	Komponenttien maahantuontiin liittyen	70
5.4.2	Estolaitteiden käytön kieltä	72
5.4.3	Homogenisointi ja luokittelu	72
5.4.4	Poikkeustapauksessa rekisteröinti	73
5.4.5	Protojen valmistaminen ja tutkimuslaitostoiminta	74
5.4.6	Koenumeroilvet ja siirtolupa	75
5.4.7	Markkinavalvonta ja varaosa-asiat.....	75

5.4.7.1	Suomen lainsäädännössä.....	75
5.4.7.2	Euroopan lainsäädännössä	76
5.4.8	Takaisinkutsu ja virhevastuu	77
5.4.9	Tyyppihyväksyntä ja vastuu	77
5.4.10	Tuotteen vetäminen pois markkinoilta.....	78
5.4.11	Muutos- tai rekisteröintikatsastus.....	78
5.4.12	Muutoksen lainvoimaisuus	79
6	MITOITUKSEN YHTEENVETO	80
6.1	Esimerkkimitoitus	80
6.2	Moottorit ja komponentit.....	81
6.3	Suojaukset ja standardit.....	82
7	POHDINTA	83
7.1	Jarru- ja ajotilatutkimus	83
7.2	Lainsäädännöstä.....	83
7.3	Metodologiasta lyhyesti.....	84
7.4	Tutkimuksen luotettavuudesta	84
7.5	Päätelmiä	85
7.6	Lisätutkimuksia	86
7.7	Lopuksi.....	86
	LÄHTEET.....	88

MERKKIEN SELITYKSET JA SANASTO

SI-yksiköt

Ah	amppeeritunti(a)
h	tunti(a)
kg	kilogramma(a)
kg/m ³	kilogramma(a) kuutiometrin tilavuusyksikköä kohti
km	kilometri(ä)
kW	kilowatti(a)
km/l	kilometri(ä) per litra
m/s	metriä sekunnissa
N	newton(ia)
Nm	newtonmetri(ä)
rad	radiaani(a)
rpm	kierrosta minuutissa
s	sekunti
V	voltti
W	watti(a)
Wh	wattitunti(a)

Muuttujat

a	ajoneuvon kiihtyvyys
α	asianyhteydessä esitetty kulma
A_f	ajoneuvon ilmanvastusala
B_1	etuakselin jarruvoima
B_2	taka-akselin jarruvoima

C_w	ajoneuvon ilmanvastuskerroin
φ_ψ	rotaatioliikkeen hitausvastus $1,08 < \varphi_\psi < 1,1$
φ_x	asemaparametri L_1/L
φ	asemaparametri h/L
f_r	renkaan vierintävastuskerroin $0,1 < \mu < 0,3$
F	vetovoimareservi tai muussa asianyhteydessä jokin voima
F_{kok}	kokonaisvastus
F_{vier}	vierintävastusvoima
F_{kitka}	stokesin lain mukainen kitka- tai viskositeettivastusvoima
F_{ilma}	ilmanvastusvoima
F_θ	nousu- tai laskuvastusvoima
g	putoamiskiihtyvyys
G	ajoneuvon kokonaismassavoima
H	hinta kontekstin valuuttayksikössä
η_v	vaihteiston hyötysuhde
i	vaihteiston välityssuhde
I_a	pyörien kokonaisinertia
I_w	moottorin kokonaisinertia
J/I	kokonaismassahitaus
J_v	pyörivien massojen hitausmomentti
k_A	stokes kitkavastuskerroin
L	akseliväli
m_1	etuakselin massa
m_2	taka-akselin massa
m	kokonaismassa
N_{1d}	etuakselin dynaaminen akselikuormitus
N_{2d}	taka-akselin dynaaminen akselikuormitus

N_1	etuakselin staattinen akselikuormitus tai tukivoima
N_2	taka-akselin staattinen akselikuormitus tai tukivoima
P_v	ajoneuvon moottorin tuottama teho/ajoteho/käyttöteho
P_m	moottorin suorituskkyky
ρ	ilmantiheys
R	renkaan säde
$T_{\mu w}$	vääntömomentti renkaalta kitka ja tuuli huomioituna
T_r	vääntömomentti renkaalta
T_m	vääntömomentti moottorilta
T_L	vääntömomentti vaihteistolta
v_0	tuulennopeus
V	ajoneuvon nopeus
ω_r	ajoneuvon pyörän pyörintänopeus
ω_m	ajoneuvon moottorin pyörintänopeus
γ_m	kokonaishitauserroin
z	jarrutussuhde

Käsitteet

AC/DC-Invertteri. Engl. *inverter*, muuntaa vaihtovirran tasavirraksi. Tätä käytetään AC-moottoreissa ja ajoneuvon verkkovirtalatauksessa (Self Study Programme 820233. 2013, 24).

Akkujen hallintajärjestelmä. Engl. *battery management system* (BMS), jonka tehtävä on pitää akusto tasaisessa latauksessa.

DC/DC-konvertteri. Engl. *direct current*, muuntaa korkeajänniteakun jännitteen halutunlaiseksi jännitteeksi. Tyypillinen hallintalaitteiden käyttöjännite on yleensä + 12 V. (Self Study Programme 820233. 2013, 24.)

Differentiaali. Engl. *differential* (D) tässä: hypoidivetopyörästö, joka muuttaa sähkömoottorilta välitetyn pyörimisliikkeen $\frac{1}{2}\pi$ kulmaan sijoitettujen kaarihampaisten hammasrattaiden välityksellä (Dooner 2015, 56).

Induktiomoottori. Engl. *induction motor* (AC), kolmivaihevirralla käytettävä sähkömoottori. Teslan suosima järjestelmä, jossa virta on sinimuotoista $\frac{1}{3}2\pi$ radiaanin vaihde-erolla (Rippel 2007).

Polttomoottori. Engl. *internal combustion engine* (ICE), jonka energianlähteenä on jokin hiilestä tai etyylialkoholista sekoitettu seos. Seos sytytetään palotilassa. Ruiskutetun ilma-kaasuseoksen räjähtävä laajentuminen saa moottorin mekaniikan liikkeeseen. (Penninger – Du 1995, 1–2.)

REESS. Engl. *rechargeable energy storage system*, eli vaatimusten mukainen uudelleenladattava sähköenergian varastointijärjestelmä (23.8.1996/100).

Sähkömoottori. Engl. *electric motor*, joka koostuu sähköistetystä propulsiojärjestelmästä. Sähkömoottorin energianlähteenä on akustoille varattu sähköenergia. Moottori koostuu käämeistä ja magnetoituvasta materiaalista. Kun järjestelmään johdetaan sähköä taajuusmuuttimen säädellä napaisuutta, työakseli, jonka ympärillä magnetoituva metalli on, pakotetaan pyörimään ennalta määrätyn taajuuden mukaan tietyllä nopeudella. (Zeraoulia – Benbouzid – Diallo 2005, 280–287.)

Tasavirtamoottori. Engl. *permanent magnet direct current* (PMDC), jonka toiminta perustuu tasavirran syöttämiseen ja tässä mallissa hiiliharjattomaan menetelmään.

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Vähenevät öljyresurssit sekä maailmanlaajuinen ilmastomuutoksen ilmiö ovat pakottaneet yhteiskunnan asettamaan kansallisia ja paikallisia säädöksiä päästöjen ja polttoaineen kulutuksen vähentämiseksi. Yhteiskunta etsii tieteellisin keinoin vaihtoehtoisia menetelmiä liikuttaa ajoneuvoja nykyistä vähemmän saastuttavilla voimalähteillä ja energiamuodoilla. Maailmanlaajuisessa mittakaavassa väkeä lisääntyy ja täten myös ajoneuvoille on kysyntää yhä enemmän. Yksityisautoilu on erittäin kestämaton kuljetusmuoto jatkuvassa väestön ekspansiivisessa eli laajenemaan pyrkivässä kansoituksessa verrattuna esimerkiksi ennalta suunniteltujen julkisten ajoneuvojen käyttöön.

Yksityisautoilua halutaan vähentää. Kuka tietää, minkä tieteellisen läpimurron jälkeen tulevaisuudessa yksityisautoilu säilyttäisi asemansa nykyisessä tieliikenteen infrastruktuurissa. Yhdeksi mahdolliseksi ratkaisuksi tulevaisuuden ekoautoilulle ajoneuvoteollisuus on alkanut tuomaan markkinoille jo 2000-luvun alkupuolella hybriditekniikalla ja suoralla sähköllä toimivia moottorivaihtoehtoja.

Ensimmäinen sähköajoneuvo rakennettiin Yhdysvalloissa Thomas Davenportin toimesta vuonna 1821. Davenportin sähköajoneuvo ei ladannut itse itseään, vaan se täytyi ladata ulkoisesti irrottamalla sen energianvaraaja. (Self Study Programme 820233. 2013.) Tällä hetkellä sähköajoneuvoja voi löytää jokaisen ajoneuvovalmistajan valikoimasta. Nykyään myös sähkömuunnoksia on saatavilla valmiina kokoonpanoina. Monet kokoonpanot markkinoidaan kuluttajille halvan hinnan, bolt-on-kiinnityksien, ohjeiden, suorituskykykartan ja myyntipuheiden avulla.

Se, mitä kuluttaja lopulta saa käsiinsä, ei välttämättä 1.) täytä mielikuvia sähkömuunnetun ajoneuvon toteuttamisesta, 2.) ole rakennettu luotettavalle mekaaniselle arkkitehtuurille, 3.) ole riittävä ajoneuvon massan kiihdyttämiseen ja ylläpitämiseen maantienopeuksilla tai 4.) täytä Suomen tai Euroopan asettamia käyttö- tai ympäristöturvallisuusvaatimuksia muutoksastukselle.

Vastauksena näihin muodostamiini tutkimusväitteisiin esittelen ensiksi satunnaisesti valitsemani yhdysvaltalaisen yrityksen EV Westin valikoimaa. Toiseksi selvitän kirjallisuudesta, tutkimuksista ja WWW-lähteistä komponenttien ja osokokonaisuuksien sähkötekniikan yleistöimintää. Kolmanneksi tuotan sähkömuunnoksen tekemiseksi teoreettisen jarrukonstruktio- sekä ajotilatutkimuksen. Jarrukonstruktio- ja ajotilatutkimukseen käytän menetelmäopillisia piirteitä suoraan lähdekirjallisuudesta soveltamalla.

Muodostan myös omaa yksinkertaista havaintopohjaista teorian ja käytännön yhdistämistä laskentakaavoilla. Tutkimuksen tekeminen kertoo lukijalle monia näkökantoja, kuinka muutoksen tekeminen hyödyttää realistisin odotuksin. Viimeisimpänä tutkin Suomen ja Euroopan lainsäädännön asettamia edellytyksiä ajoneuvon muutostöille. Pääviitekehystenä käytän ajoneuvolakia, joka on muodostunut Euroopan parlamentin ja Yhdistyneiden kansakuntien säädösten pohjalta. Uusimman lainsäädännön tulkitseminen itsessään on osa opinnäytetyön toteuttamista. Aineisto sekä johtopäätökset voivat olla yleistettävissä, mutta ne on kirjoitettu vain tämän opinnäytetyön kontekstissa.

1.2 Kartoitusta tehdyistä päättötutkielmista

Aiemmin toteutettuja sähkömuunnostöitä on nähty maailmalla jo paljon. Suomalaisissa ammattikorkeakouluissa tehtyjä päättötöitä on kymmenkunta. Näistä päättötöistä olen ottanut vaikutteita tutkimukseeni. Työssä on hyödynnetty eCelica-muunnossähköauton (Lamminaho 2015) käytännön tietoa. Muunnostyöstä eCorolla 2.00 (Hukka 2011) tuotan päivitetymmän ja laajemman katsannan järjestelmän komponenteista. Muunnossähköauton lataukseen ja BMS-järjestelmän suunnitteluun otetaan vaikutteita Asikaisen (2017) työstä.

Ajotilatutkimuksen tekemiseksi käytän pääasiassa luentomateriaalia ja kirjallisuutta, mutta esimerkiksi Eskelinen (2013) on tutkinut tätä aiemmin opinnäytetyössä Kevytajoneuvon ajodynamiikka tutkimus. Lopuksi päivitän muunnosajoneuvon tekemisen lainsäädännöt osat opinnäytetyön Ohjeistus N1G-luokan sähköautokonversion muutostöille (Korva 2013) sisällön ylläpitäen. Tavoitteena on uudistaa näiden muunnostöitä suunnittelevien ja tehneiden henkilöiden tietoja yhdistellen vuoden 2018 vaatimusten tasolle.

1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyön aiheena on ajoneuvon sähkökäyttöisyyden perusteiden representoiminen ajoneuvoteollisuuden sähkökäyttöisen murroksen aikana. Opinnäytetyö antaa kritiikkiä sähköajoneuvojen kestämyydestä, mutta myös ennustaa tilanteen muuttuvan lähdetietoon tiiviisti perustellen. Opinnäytetyö on jaettu pieniin asiakokonaisuuksiin sen lukemisen helpottamiseksi.

Ensimmäisessä osassa operationaalistetaan ja kohdistetaan tutkimuksen laaja ja tiettyihin yksityiskohtiin tarkentuva selvitys sähköajoneuvoteknologian tutkimuksen empiiriselle kentälle. Sähköajoneuvoteknologian kokeelliseen kenttään sisältyvät luvut 2 ja 3. Näissä luvuissa käydään lyhyesti ja tiivistetysti sähkökäyttöisten ajoneuvojen yleisimmät arkkitehtuurit, erot ja samankaltaisuudet ICE:ihin nähden. Tässä tarjoillaan sähkötekniikkaa myös raskaaseen kalustoon sekä muodostetaan käsitys tämänhetkisistä talousennusteista. Varsinainen tekninen osio käsittää sähköajoneuvon pilkkomisen pääkomponentteihin, joita ovat moottori, akusto, kontrolleri, akuston latausjärjestelmä ja lisävarusteet. Teknisessä osassa kuvaillaan lyhyesti osien toimintaperiaatteita.

Toisessa osassa toteutetaan ajotilatutkimus. Luvun 4 sisältö käsittää mitoituksen esittelyn, metodologisen tarkastelun ja lopputulokset. Sähkömuutettavan ajoneuvon pohja voi olla teoriassa millainen vain ja sille voidaan mallintaa tarkat vetovoimavaatimukset. Työssä käydään läpi satunnaisilla parametreilla ajoneuvon kokonaisajovastusten määrittäminen, vetovoiman määrittäminen, vaikutukset jarrukonstruktion ja lopulta analysoidaan niiden tehtävät kuvien avulla.

Viimeisessä sisältöosassa luvussa 5 käydään läpi lainsäädännön velvoitteet referoivaan tyyliin. Katsoin hyödylliseksi poimia lainopilliset kohdat muutostyön asiansynteudessa, jolloin opinnäytetyöstä on helppo siirtyä lähdeviitteen osoittamaan alkuperäiseen tiedonlähteeseen. Katsannon tekemisen edut tulevat ilmi lukiessa sekä analysoidessa sen sovellettavuutta. UNECEn säädösten esittäminen Suomen valtioneuvoston asetuksien kuvaamina sisältää

käytännössä kaiken tarvittavan ajoneuvon rekisteröimiseksi, jos tietää, kuinka Suomen rekisteröinti- tai muutoskatsastusjärjestelmät suurpiirteisesti toimivat. Tavoitteena on koekilpien sekä poikkeusluvan hakeminen ja niiden saaminen. Lupien hakemisella voidaan ennakoida ensimmäisen prototyypin rakentamisen vaatimuksia. Pääluvussa 6 kokoaan erään mahdollisen osalistan opinnäytetyössä käyttämäni esimerkkikomponenteista. Viimeisessä luvussa 7 tuon esille omat, mahdollisimman objektiiviset ajatukseni tekstistä. Tuotan synteesiä opinnäytetyön sisällöstä. Analysoin luotettavuutta, menetelmiä ja esitän ehdotuksia lisätutkimukselle.

2 SÄHKÖAJONEUVOT YLEISESTI

2.1 Sähköajoneuvojen yleisimmät arkkitehtuurit

Sähkökäyttöiset ajoneuvot voidaan jakaa Qin (2016, 4) ja Lamminahon (2015, 2–6) käyttämän järjestyksen viitekehyksessä neljän eri arkkitehtuurin pohjalle: sähköakkukäyttö, hybridi, Plug-In-hybridi ja polttokennoajoneuvo. Tässä opinnäytetyössä keskitytään sähköakkukäyttöisen ajoneuvon tematiikkaan, mutta luokittelen myös muut tunnetut järjestelmät tiivistetysti.

Sähköakkukäyttöisen ajoneuvon eli tämän opinnäytetyön kontekstissa sähkökäyttöisen ajoneuvon arkkitehtuuri rakentuu yksinkertaistettuna sähkömoottorista, kontrollointijärjestelmästä ja akuston kokoonpanosta. Hybridiajoneuvo on tavallaan polttomoottorin ja sähkömoottorin risteytys, jossa on tavoiteltu molempien menetelmien hyötyjä. Plug-In-hybridissä yhdistyy tavallisen hybridin ominaisuudet ja sähköakkuajoneuvon latausmahdollisuus. Polttokennoajoneuvo koostuu akustosta ja vedynpolttokennosta. Akusto varaa kennon tuottamaa sähkövirtaa ja toimii sähkömoottorin energianvaraajana. Kennosto koostuu elektrolyytistä sekä positiivisesta että negatiivisesta elektrodista. Kennoon johdettu vety muutetaan vedeksi katalyyttien avulla, jolloin samalla vapautuu lämpöä ja syntyy sähköä. (Qin 2016, 35–38.)

2.2 Ajoneuvojen erot ja yhtäläisyydet

Sähköajoneuvojen ulkonäkö on lähes samanlainen kuin minkä tahansa muun ajoneuvon. Kori ja alusta ovat rakenteeltaan samankaltaisia kuin polttomoottorikäyttöisissäkin ajoneuvoissa. Ajoneuvovalmistajat ovat sähköakkukäyttöisten ajoneuvojen massatuotannon alkuvaiheessa mitoittaneet käyttövoimamuutoksen jo polttomoottorina saatavaan ajoneuvomalliin. Esimerkkinä tästä on Volkswagenin e-Golf (Täyssähköauto –. 2018). Sähköajoneuvojen teknologian käyttöönottoon ja yleistymiseen vaikuttavat tällä hetkellä pääasiassa asiakkaiden kysyntä, hinta ja teknologian kehittyminen. Kallis akkuteknologia ja toistaiseksi täyssähköajoneuvojen vähäisyys nostavat tuotteen hintaa.

2.3 Sähkömuunnoksen hyödyt kevyille ja raskaille maantiekuljettimille

Sähkömoottorilla on laaja kierrosnopeusalue, jolloin suunniteltavan kokoonpanon ei tarvitse sisältää erillistä vaihteistoa. Sähköpropulsio synnyttää optimaalisen ja korkean väännön jo pienillä nopeuksilla. Sähkökäytön etuna on myös se, ettei moottoria tarvitse tyhjäkäyttää yhtään, vaan moottori kiihdyttää käyttäjän pyynnöstä ajoneuvon nollanopeudesta. (Qin 2016, 7.) Lisäksi muita hyötyjä ovat polttoaineen hajuttomuus, hiljaisuus, kineettisen energian talteenotto, polttomoottoria kevyempi rakenne sekä polttomoottoria parempi hyötysuhde. Ylläpitokustannukset ovat minimaaliset, sillä sähkökäytössä ei ole montaa huollettavaa osaa kuten polttomoottorissa on. Sähkökäytössä voidaan ajatella olevan vain yksi liikkeessä kuluva osakokoonpano: sähkömoottori tukilaakereineen.

Sähköajoneuvon voi laittaa lataukseen illalla ja ottaa käyttöön aamulla täydellä varauksella. Latausta ylläpidetään ajonaikana jarrutuksien yhteydessä. Staattorin regeneroivan ominaisuuden ansiosta jarrutusenergia otetaan talteen. Logistiikan kannalta esimerkiksi sähköbussit tuottavat suurta julkista hyötyä, sillä polttomoottorikäyttöisten bussien pakokaasuhaitat jäävät historiaan. Rahtiliikenteen muuttuessa täysin elektroniseksi paikalliset pakokaasupäästöt saadaan minimoitua. Volkswagenin (Self Study –. 2013, 7–9) mukaan voitaisiin keskittyä parantamaan saastuttavien voimalaitosten päästöjä, jolloin maailmanlaajuiset ympäristöongelmat saattaisivat poistua päiväjärjestyksestä.

On olemassa muutamia edellytyksiä sille, että sähkömuunnosajoneuvoilla voisi tehdä kannattavaa liiketoimintaa. Kokoonpanot vaativat tuotekehitystä sekä kestäväää ja halpaa akkuteknologiaa. Sähköajoneuvojen valmistaminen ei ole nykyisillä menetelmillä kovinkaan kestäväää, sillä niissä käytetty teknologia kuormittaa ympäristöä enemmän kuin polttomoottoreiden nähdään kuormittavan. (Ks. Wilson 2013).

Sähköjakelun infrastruktuuri ei kestä sähkökäyttöisten kuljettimien ajoneuvokannan kasvua. Sähköajoneuvojen käytännöllisyys heikkenee kovilla pakkasilla. Esille tulleet näkemykset laskevat muunnoksen kannattavuutta.

Muunnosajoneuvo ei kestä käytännöllistä kritiikkiä kovinkaan hyvin, mutta on vielä osittain tuntematon ja tieteellisesti vahva osa ajoneuvojen voimanlähteiden tulevaisuutta ja tutkimusta.

Sähkökäytön lataaminen on toistaiseksi vielä polttomoottoreiden tankkaamista hitaampaa. Pitkiä matkoja ajettaessa polttomoottoria on tankattava matkan jatkumiseksi ja tämä vie vain pari minuuttia huoltoasemalla. Sähköajoneuvojen latausverkoston infrastruktuuri on selvästi kehittymässä paremmaksi ja nopeammaksi. Joka tapauksessa tämänhetkiset latausajat kestävät kauemmin kuin 15 minuuttia tyhjästä täyteen varaukseen.

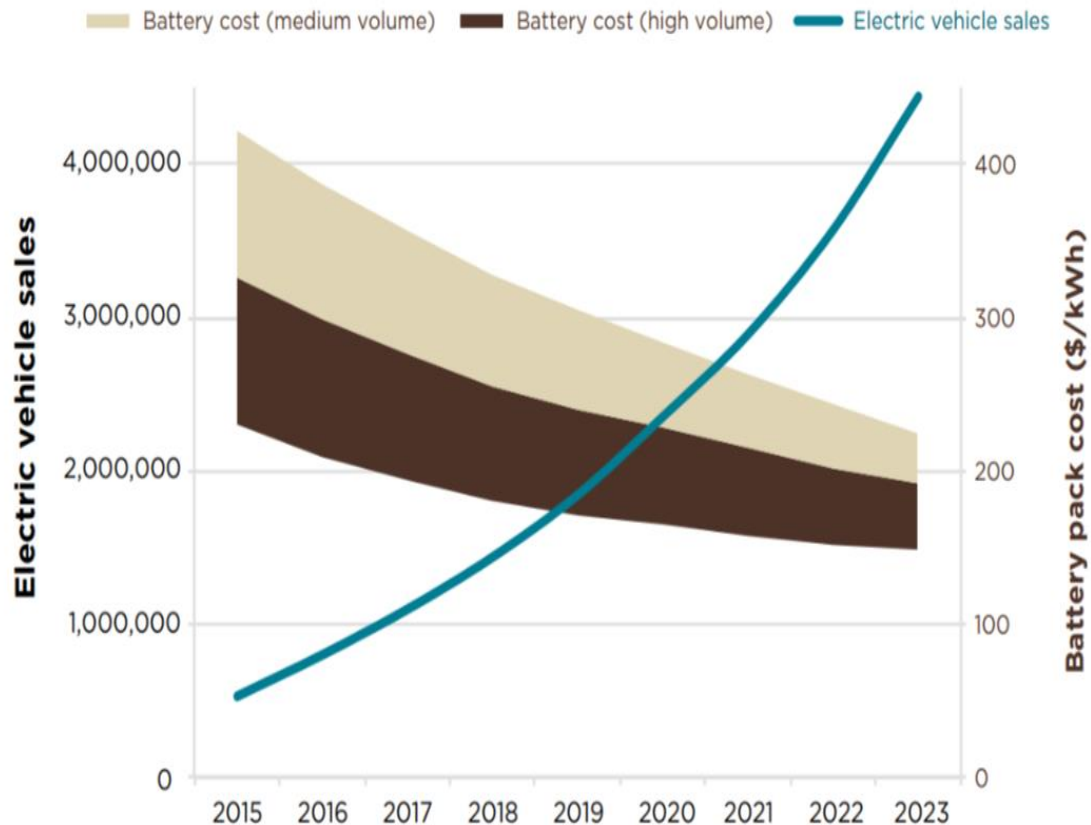
2.4 Talousnäkymät tutkimukselle globaalista näkökulmasta

2.4.1 Talousennusteet

Slowikin, Pavlenkon ja Lutseyn (2016, 9–10) antamien talousennusteiden avulla voidaan sanoa, että sähköajoneuvojen myynti nousee eksponentiaalisesti teknologioiden kehittyessä kapasiteetiltään paremmiksi ja halvemmiksi. Pelkästään akuston hinta on laskenut kuvan 1 mukaan vuodesta 2014 vuoteen 2018 noin 250 \$/kWh. Vuodessa pudotusta on tullut noin 100 \$ kilowattituntia kohden ja alittanut 200 dollarin rajan 2015 uusien tuotantolaitosten syntyessä ja adaptoidessa parempia ja tarkempia menetelmiä. Vuosi 2016 toi teknologian kustannuksia lähelle 150 \$ rajaa ja pian ollaan tavoitteessa, eli alle 100 \$/kWh kustannusten akkutuotannossa.

Kuvan 1 mukaisesti vuoden 2015 myyntitilastot näyttävät liiketoiminnalle otollisilta. Seuraavien vuosien markkinoiden hintojen oletetaan laskevan ja ominaisuuksien lisääntyvän huomattavasti. (Slowik – Pavlenko – Lutsey 2016, 16–17). Vaikka kasvu ei olisi kuvatulnalaista, se saattaa lisätä harrastelijapiireihin tarvetta etsiä vaihtoehtoisia ratkaisuja. Sähkömuunnoksen tekemisen voisi olettaa olevan kannattavaa liiketoimintaa. Suomessa korjataan yleisestikin vanhoja ajoneuvoja yli niiden suunnitellun käyttöiän. Sähkömuunnos on oikein suunniteltuna ja tehtynä nopea ja kassavirtaa kasvattava liiketoiminnan osa-alue. Muunnokset voisivat olla riippumattomia ajoneuvonvalmistajien käyttämistä menetelmistä, sillä sähkömuunnosta ei myytäisi autokaupan tavoin. Kyse on pikemminkin oman ajoneuvon räätälöinnistä. Käyttövoiman muutos voidaan

toteuttaa monin tavoin, joko edullisesti tai suorituskykyä ja kantamaa silmällä pitäen.



KUVA 1. Sähkösäätömyyden ajoneuvojen markkinoiden kasvu ja yhteys akustojen kustannuksiin (Slowik – Pavlenko – Lutsey 2016, 13)

2.4.2 Markkinaevoluutio

Poliittiset tekijät ja hallituksen myönteinen tuki sähköajoneuvojen käytön kasvamiseksi vaikuttaisi olevan välttämätön tekijä alentamaan sähköajoneuvon ostamisen kynnystä. IEA:n (2017, 7) mukaan polttomoottorien käytön väheneminen pienentää polttoaineista kannettavaa veroa, mikä johtaa lopulta kuitenkin siihen, että tieliikenteen sähköistyminen on vielä hyvin tuntematon, sääntelemätön ja realistisesti ajateltuna kestävätkö kustannuksiltaan. Kestävän tulevaisuuden tekemiseksi muutaman vuoden kestävätkö suunnittelu ei näy tarkastellessa kehitystä esimerkiksi vuosituhaten tasolla tai otsonikerroksessa käytännössä mitenkään. Kustannusten saaminen kuluttajatasolle on mahdollista tieteellisten tutkimusten (IEA 2017, 14) mukaan kun kasvatetaan akkujen

massatuotantoa jolloin kustannukset laskevat. Tämä uudistus vaatii myös aimo harppauksen sähköverkoston mitoitukselta.

Uskottavana markkinakehityksen tulevaisuuden näkymiä voidaan pitää esimerkiksi 2010 vuonna tehdyn arvion suhteen 2020 akkuteknologian hinta- ja kapasiteettikehityksestä (Dinger – Martin – Mosquet – Rabl – Rizoulis – Russo – Sticher 2010). Mitään Mooren-lain kaltaista teoriaa ei kannata soveltaa, koska kehitys voi hidastua tai nopeutua taloudellisten ja poliittisten vaikutteiden lisäksi ympäristöasioiden kautta. Vertaamalla Dingerin ym. (2010) ja IEA:n (2017) muodostamia arvioita keskenään, voidaan huomata akkujen hinta- ja kapasiteettikehityksen noudattaneen Dingerin ym. (2010) ennusteita ainakin opinnäytetyön kirjoitusajankohtaan asti. Tulevaisuuden ennustaminen on kuitenkin hyvin pitkälti kiinni monista muuttujista, joten lukijan on muodostettava oma käsityksensä tutkimukseni tulkintaan itsenäisesti.

3 SÄHKÖAJONEUVOJEN TEKNIikka

3.1 Ajojärjestelmän arkkitehtuurit

Sähköajoneuvomuutoksen arkkitehtuurilla kuvaan sähkömuutostyössä sen kattavan ratkaisun kokonaisuutta. Käsitteellistäminen on perusteltua, sillä sanaa arkkitehtuuri käytetään laajasti konstruoitujen kokonaisratkaisujen muodossa, jossa otetaan huomioon usein ristiriitaisia tekijöitä ja osapuolia. Sähkökäyttöjen arkkitehtuurien luokittelu menee yleensä valmistajan, suunnittelijan tai kehittäjän mukaisesti (ks. Qin 2016).

3.2 PMDC ja AC

Sähköajoneuvoa liikuttavat samankaltaiset funktiot kuin polttomoottoriakin. Sähkömoottorilla siirretään mekaaninen energia vetäville pyörille voimansiirtoketjun kautta. Nämä kaksi ajoneuvoa kuitenkin eroavat toisistaan niiden menetelmältään pyörittää vetäviä pyöriä. Polttomoottorissa käytetään aina vaihteistoa, jolla pyritään optimoimaan moottorin toiminta-alue mahdollisimman hyvin. Sähköajoneuvossa ei ole välttämätöntä käyttää vaihteistoa ja tällöin voisikin puhua suorasähkövetoisuudesta. Poiketen suoravetoisuudesta, esimerkiksi CVT-vaihteistot ovat yleistyneet käytettäväksi sähkömoottorin kanssa ja ovatkin oikein hyviä alentamaan moottorin kierroslukua optimaalisimmille alueille. (Ks. Niskanen 2016)

Sähkökäytössä moottorin suorituskykykarttaa voidaan säätää riippumattomasti esimerkiksi polttomoottorin suorituskykyyn verrattuna, joka useimmiten vaatii useamman osan vaihdon ja perusteellisen säädön ohjelmaan. Vaihdevälityksen puuttuminen sähkömoottoripaketissa säästää todella monen osan mallintamisen, prototyypin, testauksen ja muun valmistukseen liittyvän työvaiheen. Liikkuvien osien määrä vähenee, mikä lisää ajoneuvon luotettavuustekijöitä ja vähentää korjaamisen monimutkaisuutta. Mitä vähemmän käytön ja pyörän välissä on voimansiirtoa, sitä parempi on hyötysuhde. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan sähkömuunnoksen kannalta käytännöllisiä malleja, eli suoraan kardaaniin liitettäviä sähkömoottoreita.

Sähkömoottorin liitoskonstruktioita on olemassa myös suoraan pyörän navalle liitettävät moottorit, eli napamoottorit. Napamoottori lisää ajoneuvon jousittamatonta massaa siten, että käsitteellisellä tasolla lukija voi ajatella kiinnittävänsä nilkkaansa 25 kilogramman painon ja hyppiä tukevan lattian potentiaalissa. Ero nilkkaan kytkemättömän ja kytketyn painon suhteen määräytyy Newtonin peruslakien mukaisesti. Ajoneuvon jousittamattoman massan liikerata säilyy rakenteellisesti samana, mutta sen dynaaminen balanssi muuttuu. Jousittamaton massa sisältää liikkeisiinsä massan ominaista hitautta ja ajettavuus kärsii ilman riittävän jäykkää sekä hyvin vaimennettua vaimenninjousikonstruktiota.

Sähkömoottorin voi myös liittää suoraan taka-akselin vetoakselien välille suorakulmaan tai oikokulmaan. EV Westin valikoimassa on saatavilla sellaisia sähkömoottoreita, että niissä on moottorin molemmin puolin pyörimisliikkeen ulostuloja. Liittäminen taka-akseleiden valmiisiin boorituksiin on vain mitoituskysymys. Esimerkiksi EV Westin (Tesla Model –. 2018a) yksikön mukana toimitetaan vetoakselit. Moottorin voi sen johdosta kiinnittää ajoneuvon runkoon yleismallisesti. Tesla käyttää tällaisia menetelmiä. Vetoisuus voidaan siten toteuttaa nelivetoisena esim. kahdella EV Westin (Tesla Model –. 2018a) -moottorilla tai yksinkertaisemmin taakse- ja eteen sijoitetuin propulsioin.

Sähkömoottoreissa on yksi tai kaksi vetoakseliin kiinnitettävää ulostuloa. Koska ne ovat havainnollistavan EV Westin viitekehysten mukaan lieriön mallisia, niiden oikeaoppinen kiinnittäminen vaatii vain sovitusta ja lujuusopillista tarkastelua. Sähkömoottoreita on taulukon 1 mukaan kahdentyyppisiä, vaihto- ja tasavirtamoottoreita (Tesla Model –. 2018a; Curtis 1239e-8521 –. 2018; Oil-Cooled Curtis –. 2018; ZYTEK 55kW –. 2018; Warp 11 –. 2018; Dual Siamese –. 2018).

TAULUKKO 1. EV Westin valikoimasta löytyvät sähkömoottorit (Tesla Model –. 2018a; Curtis 1239e-8521 –. 2018; Oil-Cooled Curtis –. 2018; Zytek 55kW –. 2018; Warp 11 –. 2018; Dual Siamese –. 2018)

Malli	U (V)	I _{max} (A)	T _{max} (Nm)	n _{max} (rpm)	η (%)	m (kg)	H (\$)
Model S	400 AC	1000	415	9000	92	133	11900
AC-35	164 AC	500	127	10000	88	52	4449
AC-35x2	144 AC	1000	257	8000	92	88	9327
Zytek 55kW	278 DC	N/A	120	12000	97	62	900
Warp 11	190 DC	452	183	8000	88	106	3699
Dual Warp 11	220 DC	500	1355	5000	88	218	7700

Taulukkoon 1 on laadittu puolueettomasti yhdysvaltalaisen EV Westin tarjonnasta kiinnostavimmat sähkömoottorit. Kolme ensimmäistä ylhäältä, Model S, AC-35 ja AC-35x2 edustavat vaihtovirran menetelmin tuotettua pyörimisliikettä. Model S:n moottori on kallein ja tehokkain, mutta myös raskain. AC-35 ja tämän kaksoisversio vaikuttavat paremmilta vaihtoehdoilta perusluokan henkilöautolle. Kolme viimeisintä edustavat tasavirtamalleja hiiliharjadesignillä. Tasavirtamoottorin voi myös toteuttaa harjattomana keстомagneeteilla. Kestomagneettien ideana on niissä käytetyn magneetin; maamagneettien,

keraamisten ferriittimagneettien tai alnico-magneettien käytös, kun käämeihin indusoidaan virtaa. Moottori pyörähtää käämeihin muodostuneen vastaisen magneettikentän vaikutuksesta esimerkiksi tasan $\frac{1}{2}\pi$ radiaania neljän käämin staattorilla. Erillinen komentokytkin siirtää indusoidun käämin virtaa aina käämistä seuraavaan. Mikäli harjalliset moottorit on valmistettu siten, että hiiliharjat on helppo vaihtaa, konstruktiossa ei ole moitteen sanaa. Mikäli ajoneuvoon halutaan mahdollisimman huoltovapaa mitoitus, käytetään PMDC- tai AC-menetelmiä.

3.3 Kontrollointijärjestelmät

Moottorikontrolleri on laite, jolla hallitaan moottorille annettavan sähkövirran määrää kuljettajan jalkatilassa olevan toivepolkimen avulla. Kontrolleri on sähköajoneuvon tärkein osa. Lehtosen (2015) mukaan ilman ohjauselektroniikkaa ei ole myöskään hallittavissa olevaa ajoneuvoa. Ajo-olosuhteet vaativat suurta tarkkuutta ja viiveettömyyttä, joten kontrollerilla täytyy olla ainakin seuraavat perusominaisuudet kunnossa. Ajo-ominaisuuksilta edellytetään viiveetöntä toimintaa ja joustavaa virransäätöä muuttuviin ajo-olosuhteisiin.

Korkea laitteen ja hallittavien laitteiden välinen päivitystaajuus vastaa riittävän viiveettömän toiminnan toteutumisesta kuljettajan vaikuttaessa ajoneuvon käyttöön. Virransäätö on välttämätön ajo-olosuhteiden mukaiseen turvalliseen ajoon. Haatajan (2017) mukaan liukkaalla kelillä kitkavaatimusten laskiessa voimaa välittävälle pyörille tulee välittää vähemmän vääntömomenttia pidon säilyttämiseksi. Virransäätö on tarpeellinen haluttaessa kuristaa moottorin vääntömomentin tuottoa. Kuljettajan- tai ajo-olosuhteista riippuvaisen ohjelman mukaan toteutettavaan ohjaukseen on oma menetelmänsä: AC-moottori vaatii kontrollerin, jolla voidaan hallita vaihtovirran taajuutta. DC-moottorille riittää staattorin käämien ohjaamisen edellytykset.

EMC-mittausten suhteen yhteensopivuuteen myyntivälittäjän EV Westin (ZEVA MC1000C –. 2018; NetGain WarpDrive –. 2018; Rinehart PM150DX/DZ –. 2018; Rinehart PM100DX/DZ –. 2018) tuotteiden yhteydessä on maininnat Yhdysvaltojen viimeisimmistä SAE- ja ISO-standardien mukaisista

konstruktiosta sekä vahvoista IP-luokituksista. Muuntimissa on yleisesti vakiona regeneroivan jarrutuksen ominaisuus ja jokaisessa on oma täysin ohjelmoitava CAN-bus väyläteknologia käytössä. Taulukkoon 2 on koottuna neljänlaisia ohjaimia. Rinehart PM100DX/DZ ja PM150DX/DZ edustaa vaihtovirtamuunninta eli taajuusmuunninta. Tässä on syytä huomata kuinka taajuusmuuntimen ohjauksen kohdalla virta vaikuttaa tehoon. Osa valmistajista on ilmoittanut laitteen päivitystaajuuden jolla se toimii. Voisi olettaa, että päivitystaajuus on noin 16 kHz jokaisella laitteella ilmoitettujen arvojen perusteella. Tasavirtakontrollerit maksavat selkeästi vähemmän kuin vaihtovirtamuuntimet. Tämä johtuu laitteistossa käytetystä teknologiasta, välttämättömistä korkeanjännitteen suojauksista (720AC/DC vrt. 360DC), joka mahdollistaa Rinehart-muuntimet käyttämään joko AC- tai DC-moottoria.

TAULUKKO 2. Kontrollerivalikoiman poiminnat (ZEVA MC1000C –. 2018; NetGain WarpDrive –. 2018; Rinehart PM150DX/DZ –. 2018; Rinehart PM100DX/DZ –. 2018)

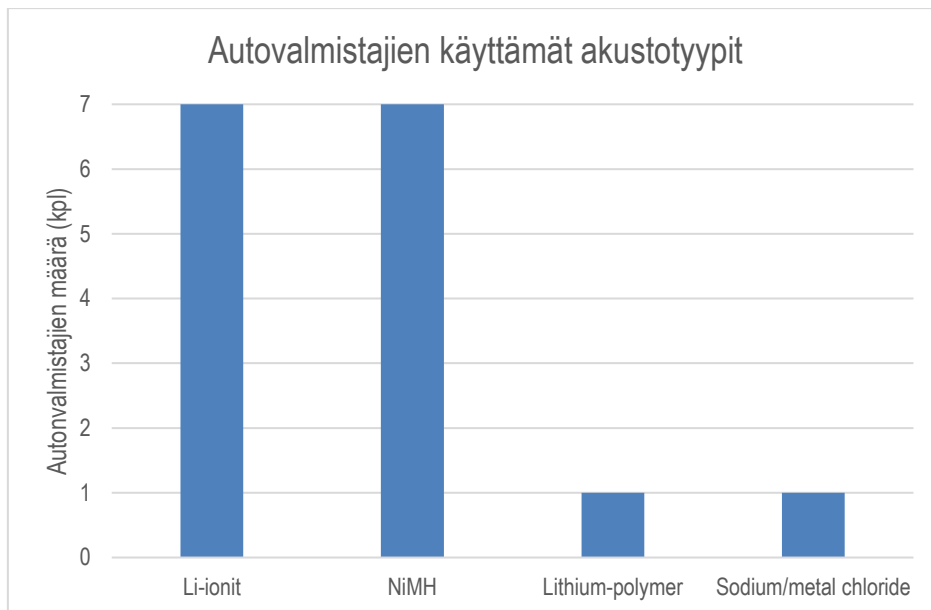
Malli	P_{con} / P_{max} (kW)	U (V) in/out	I_{con} / I_{max} (A)	m (kg)	F (kHz)	H (\$)
Rinehart PM100DX/DZ	100/436	720 AC/DC	300/350	9	N/A	5200
Rinehart PM150DX/DZ	150/562	720 AC/DC	400/450	11	N/A	7800
NetGain WarpDrive	N/A/500	260/360 DC	1000/N/A	11	16	2850
ZEVA MC1000C	150/45	144 DC	300/1000	5	16	1695

3.4 Akut

3.4.1 Akkujärjestelmistä yleisesti

Volkswagenin (Self Study –. 2013, 17) mukaan akustolla tarkoitetaan objektia, johon voidaan varata ja purkaa energiaa. Akustot sähköajoneuvotekniikassa ovat nykyisin suurin pullonkaula sähköntuotannon ja jakelun infrastruktuurin heikkouksien lisäksi. Akustot tai akkujärjestelmät koostuvat pienemmistä soluista. Esimerkiksi Tesla käyttää 18650-paristoja. 18650-paristot ovat kuitenkin yleensä suojapiirittömiä, jotta niistä voidaan purkaa virtaa riittävän tehokkaasti ja edullisesti käyttökohteeseen. Paristojen koko ja tuottamisen yksinkertaisuus on myös yksi syy käyttää yhtä käytetyimmistä standardimallin 18650-akusta koottua satojen tai jopa tuhansien akkujen kytkentää. Järjestelmän tasapainoon vaikuttaa käytetty älyteknologia, jolla voidaan kontrolloida lämpötilaa, pitää varaukset tasaisina ja nähdä akuston terveys reaaliajassa.

Kuvasta 2 voidaan havaita Youngin, ym. (2013) kartoittamat valmistajien käyttämät yleisimmät käytössä olevat akkumateriaalit. Taulukkoon 3 on koottu tärkeimmät akustojen ominaisuudet lähdeoteksiin nojautuen. Muutostyössä on perusteltua käyttää tunnettuja ja hyväksikoettuja sekä kustannusystävällisiä akustoja. Li-ion akut koostuvat oksidoituneesta metallin katodista ja hiilen anodista. Litium-metallia on puolestaan elektrolyytinä ja se on yleisesti tunnettu mm. reaktioherkkyydestä. Litiumpolymeeriakku koostuu puolestaan litiumista ja jostain polymeeristä, kuten luonnollisesti ajateltuna polymeerielektrolyytistä. Natriumakku sisältää sulaa natriumia noin 60 celciusasteen lämpötilassa (Li – Lu – Kim – Meinhardt – Chang – Canfield – Sprenkle 2016). Natriumakku sisältää vain käytännön ruokasuolaa sulassa muodossa, joten tämän voidaan sanoa olevan yhtä turvallista kuin suola purkissa. Nikkelimetallihydridiakku on ominaisuuksiltaan muutoin kuin litium-akku, mutta sen valmistukseen ei käytetä yhtä reaktiivista ja haitallista materiaalia ja sen varaus purkautuu nopeasti itseksensä.



KUVA 2. Yhteenveto 13 suurimman ajoneuvovalmistajan akkumateriaalivalinnoista taulukoituna (Young – Wang – Wang – Strunz 2013, 16)

TAULUKKO 3. Ajoneuvovalmistajien käyttämät akustot vertailukelpoisessa skemaattisessa tarkastelussa (Li ym. 2016; Narayan – Prakash 2011, 17)

Tyyppi	C (g/cm ³)	ρ_E (Wh/kg)	ρ_P (W/kg)	Hyvät ja huonot puolet
Li-ion	0,534	100-200	250-700	+ Pikalataus, pienikokoisuus ja pitkäikäisyys – Erittäin kallis ja vaarallinen kestoikään nähden
NiMH	0,32	60-120	250-1000	+ Ympäristöturvallinen ja halpa – Akkumuisti

(jatkuu)

TAULUKKO 3. (jatkuu)

Li-Po	0,7	175-275	250-730	+ Suuri purku- ja latausvirta, pienikokoisuus ja keveys – Kestoikä
So-chlo- ride	N/A	350	N/A	+ Turvallinen, Li-ionia 50% pienempi ja pitkäikäinen – Kallis ja vaikea konstruktio

Akustojen perusongelmana on niiden kulumisen. Akkumuisti on eräänlainen mikrorakenteellinen muutos akun sisällä. Tämä on erityisen ongelmallista ja ominaista esimerkiksi NiMH-akuille. Akkumuistin heikkous ilmenee laskennallisen alkuperäiskapasiteetin vähenemisenä. Lataus voi alkaa normaalisti mutta saavuttaa vain 4/5 varauksen lopettaen latauksen. Akkujen kemia mahdollistaa tällaisten tapausten olemassaolon, sillä akun kemia löytää oman tasapainonsa käytön aikana. Erilaisia valmistusmateriaaleja käyttäen törmätään erilaisiin kulumisen merkkeihin. Syynä akkumuistin synnylle on jatkuva ali- tai yllilataaminen sekä lämpötilamuutos lataamis- tai purkamisvaiheessa. Ei-suositeltu lataaminen pakottaa materiaalit muuntamaan muotoa, paisumaan, rekristalloitumaan ja näiden ansiosta menettämään tehoa.

3.4.2 Akuston suorituskyky

Sähköenergia varataan sähköajoneuvon uudelleenladattavaan akustoon, joka taas ajoneuvolla ajettaessa johdetaan kontrollerin kautta moottoriin. Nyökkisääntönä perinteiselle akkuteknologialle voidaan pitää, että mitä enemmän akustossa on soluja, sitä enemmän akustoon voidaan varastoida energiaa. Solujen lukumäärää voidaan kasvattaa määrällisesti esimerkiksi olemassaolevan teoretiedon mukaisesti ja tarkastaa laskennallisesti akuston kapasiteetti. Puretun varauksen akkua nimitetään tyhjäksi. Tyhjän akun saa täydeksi kuluttavan prosessin käänteisellä menetelmällä, eli jokaisen sähkökäyttöisen, kennoajoneuvon tai hybridin tapauksessa uudellenlataamisella.

Akuston näennäinen suorituskky määräytyy energiatihyden mukaan. Mitä korkeampi on sen energiatihyys, sitä enemmän energiaa siihen voidaan varastoida sähkömoottorin työn tekemistä varten. Energiatihyden vertailuarvona eri akkujen kesken voidaan pitää Wh/kg, eli wattituntia akun massaa kilogrammoina kohden ilmoitettuna. Nykyaikaiset akustot suunnitellaan kestämään stabiilina ja suorituskkyisenä noin 10 vuoden ajalle sisältäen yhteensä 3 000 lataussykliä. Akkujen hyötysuhde ei voi koskaan olla 100 %, koska latauksessa osa energiasta muuttuu hukkalämmöksi. (Self Study – 2013, 18.)

3.4.3 Vaatimuksia ja vertaamisen menetelmiä

Akuston vaatimuksena on yli 80 % hyötysuhde lataamiseen ja latauksen purkamiseen. Akulta edellytetään vähintään 5 000 latauksen kestoikää, eli tavanomaisessa käytössä noin 10 - 15 vuotta. Tavoitteena on suunnitella akku, jossa on lyhyt latausaika ja pitkä kantama. Pääomakustannukset akun valmistuksessa ovat tällä hetkellä keskimääräisesti alle 100 €/kWh. Viitteen mukaan vuonna 2011 akustojen tuotekehityskustannukset olivat yli 200 miljardia rahayksikköä tuotekehitettyä kilowattituntia kohti. Ympäristön kannalta on myös syytä kiinnittää huomiota käytettäviin materiaaleihin. Hyvän akkumateriaalin hankinnan, jalostuksen ja kierrätyksen ei tulisi rasittaa ympäristöä merkittävästi. (Narayan – Prakash 2011, 16.) Tälläkin hetkellä käytetään suuria summia uusien akkuteknologioiden kehittämiseen ja vaatimukset on asetettu korkeiksi vastaamaan ilmastonmuutoksen hidastamisen kriteerejä ja kestävää kehitystä. Ongelmallista on tehdä akusta yhtä aikaa riittävän halpa, pitkäikäinen, tehokas, pieni ja massatuotettu.

Akustolle voidaan määrittää Youngin ym. (2013, 20) mukaan energia- tai energiaperustainen kapasiteetti, eli gravimetrisen energian- ja tehontiheys. Tiedot ovat kiinnostavia ja liittyvät akustojen väliseen vertailuun ja arvojen tarkastukseen. Kun käsitellään energiaperustaista kapasiteettiä, puhutaan yleensä wattitunneista. Energiaperustainen kapasiteetti voidaan laskea kaavalla 1 esimerkiksi dimensioanalyysillä. Lähtoarvot saadaan helposti taulukosta 4 tai etsimällä jokin akusto World Wide Webistä. Gravimetrisen energiantihyden määrittämiseksi tarvitaan dataa wattitunneista ja akuston painosta kaavan 2

mukaisesti. Tehontiheys lasketaan kaavalla 3. Energian- sekä tehontiheys voidaan laskea myös volumetrasta suuretta, kuten litraa kohden.

$$[E] = Ah \cdot V \quad \text{KAAVA 1}$$

$$[\rho_E] = \frac{Wh}{kg} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$[\rho_P] = \frac{W}{kg} \quad \text{KAAVA 3}$$

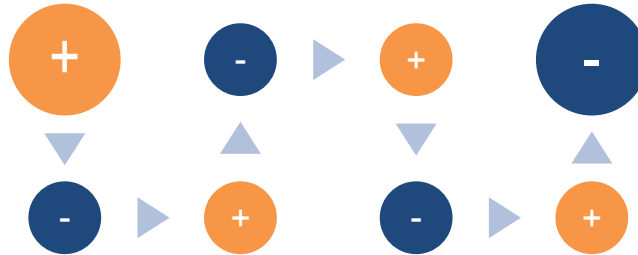
Taulukosta 4 voidaan nähdä yksi otos markkinoiden akustotarjonnasta ja verrata sitä äskeisen kappaleen hintoihin. Li-ion teknologiaa on saatavilla 230 - 570 Yhdysvaltain dollarin vaihteluvälillä. LiFePO₄ –materiaalivalintaa on vaikea tulkita ilman tarkkaa energiamäärää valmistajan tietojen puuttellisuuden vuoksi, joten se pitää laskea käyttämällä kaavaa 1. Laskennallisesti tehdyn työn määräksi saadaan 650 Wh, eli 0,65 kWh. Tästä voidaan laskea myös \$/kWh-suhteeksi EV Westin tietojen mukaan tulos 520 \$/kWh (Voltronix 260ah –. 2018).

TAULUKKO 4. Käytetyimpien akustojen (solujen, moduulien tai kokonaisuuksien) mallit esitetty taulukoituna (Voltronix 260ah –. 2018; Enerdel MP320-049 –. 2018; Tesla Model –. 2018b; Tesla Smart –. 2018)

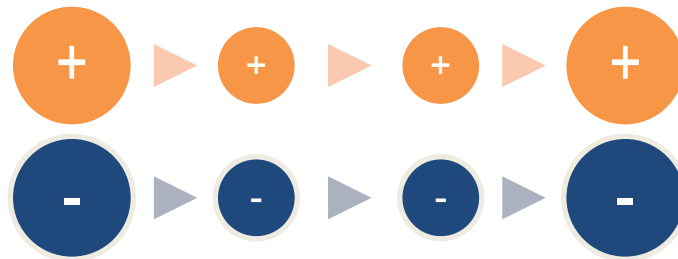
Malli	Tyyppi	E (kWh)	C (Ah)	U (V)	I _{con} / I _{max} (A)	m (kg)	\$/kWh
Model S	Li-ion	5	232	23	750/500	25	274
Enerdel	Li-ion	24.5	580	168	1200/1000	181	571
Voltronix	LiFePO ₄	N/A	260	3	2600/780	9	N/A
Smart	Li-ion	3	57	50	150/100	20	230

3.4.4 Akustonhallinta

Taulukossa 4 esitetyistä akuista ainoastaan Enerdelin akku on valmis paketti. Muut akut ovat moduuleja, jotka koostuvat x-määrästä soluja. Näitä moduuleja joudutaan hankkimaan useampia siten, että niistä saadaan sähkömuunnoksen mitoituksen mukainen kantama. Kytkeminen tehdään joko sarjaan tai rinnan kuvan 3 ja 4 mukaisesti.



KUVA 3. Sarjaan kytkettyjen akkujen kytkentäperiaate

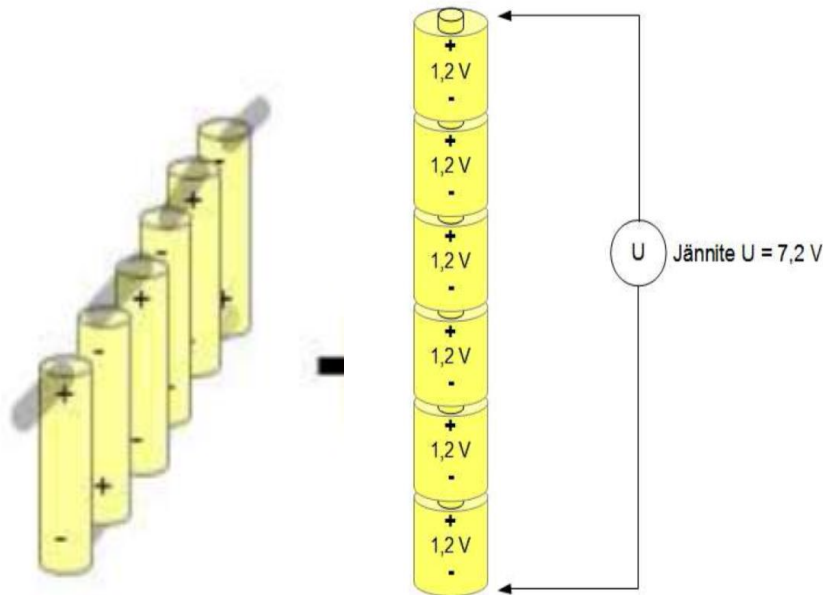


KUVA 4. Rinnan kytkettyjen akkujen kytkentäperiaate

Akkujen siltaaminen tavalla tai toisella johtaa lyhyellä aikavälillä varauksen vähenemiseen ja pitkällä aikavälillä epätasaiseen kulumiseen. Kuvassa 3 sarjaan kytkeminen tapahtuu siten, että yhdistetään kahden, tai useamman akun \pm -navat toisiinsa. Kuvassa 4 akkujen rinnan kytkemiseksi yhdistetään samanmerkkiset navat yhteen. Lopuksi sarja- tai rinnankytkentä viimeistellään kytkemällä liittämätön maatto moottoriin ja jänniteulostulo kontrollerin hallinnoimana moottoriin virtapiiriin muodostamiseksi.

Kuvassa 5 on esitetty Oulun ammattikorkeakoulun (Lehtonen 2015) sähköautotekniikan opintosisällön mukainen rinnan- ja sarjaankytkentämalli tarkennuksena. Akkujen kytkentä ja siitä aiheutuva kokonaisjännitteen muutos saattaa ylittää jännitetyön rajat, jossa lain mukaan edellytetään jännitetyölupaa

(Ilomäki 2018; Sähkötöiden tekeminen –. 2018). Varauksen vähenemiseksi ja epätasaisen kulumisen estämiseksi markkinoilla on saatavilla akuston hallintajärjestelmiä (BMS), joita käytetään kaikissa älykkäissä käytännön akkusovelluksissa.



KUVA 5. Rinnan- ja sarjaankytkentä (Lehtonen 2015, 7)

Akkujen hallintaan löytyy laaja skaala erilaisia valvontajärjestelmiä. Orionin (Battery Management –. 2018) tarjoama BMS järjestelmä lienee tällä hetkellä markkinoiden paras akustohallintalaitteisto suhteutettuna hintaan. Se on esivalituille li-ion, että LiFePO₄ -akustoille soveltuva. Hallintalaitteella voidaan asettaa virralle ja jännitteelle ylärajat latauksessa ja purkaessa. Siinä on mahdollisuus seurata akun lämpötilaa ja ohjata esimerkiksi nestejäähdytystä, riippuen onko tarpeen lämmittää vai jäähdyttää akustoa. Laitteisto arvioi kantomatkaa edistyksellisellä estimoinnilla, joka perustuu elektrokemikaalisen impedanssin spektroskopiaamiseen (ks. Li 2017).

3.5 Lataaminen

3.5.1 Latausasemat

Suurimman osan sähköajoneuvoista voi ladata kotona ja huoltoasemalla. Jotkin akut ja latausmenetelmät vaativat useiden tuntien latausprosessin, jolloin

sähköajoneuvon käytännöllisyys vähenee. Sähköajoneuvon rakentamiseksi täytyy muodostaa kokonaiskuva ajoneuvon akuston vaatimuksista. Tämän jälkeen voidaan pohtia, millainen lataaminen siihen voidaan mahdollistaa.

Sähköajoneuvo vaatii puretun latauksen täyttämiseksi lataussyöttölaitteen sekä sähköajoneuvolatauspisteen. Latauslaitteilla toteutetaan fyysinen työ asettamalla latauskaapelin liitin ladattavan ajoneuvon latausliittimiin, aivan kuin polttoainepistoolin asettaminen polttomoottoriajoneuvon tankkiin. Se, millaista latausprotokollaa käytetään, riippuu ajoneuvon ja syöttölaitteen sekä jonkin sisäisen tai ulkoisen muuttujan välisestä yhteydestä. Kylmässä ilmastossa lataaminen toteutetaan eri tavoin kuin lämpimässä ilmastossa toteutettu ohjataan taas eri tavalla. (IEA 2017, 31.)

Latausprosessin hitaus on tuottanut harmaita hiuksia monella latausasemalla sähköajoneuvojen omistajille verrattuna polttomoottorikäyttöisen henkilöajoneuvon parin minuutin tankkausaikaan. IEA:n (2017) mukaan tällä hetkellä standardeina kuluttajien saatavilla on Euroopassa kolmenlaisia AC-lataustyyppisiä: IEC 62196 ($> 3,7 \text{ kW}$), Type 2 ($\leq 22 \text{ kW}$) ja Teslan ($\leq 22 \text{ kW}$) määräysten mukaisia, suluissa esitettyjen arvojen lataustehoisia hitaiksi luokiteltuja latureita. Nopeutta hakiessa latauslaitteita löytyy myös AC:n lisäksi DC –järjestelmiin. Esimerkkeinä tehollatauksista ovat CSS Combo 2 Connector (200 kW) ja Teslan CHAdeMO (150 kW) asti yltävät tehollataustyyppit (ks. IEA 2017, 30, taulukko 3).

Taulukossa 5 on esitetty mielekkäimmät latausasemat asianmukaisilla suojuuksilla. Laitteet ovat standardin NEMAn 5 - 6 mukaiset ja täyttävät viimeisimmät SAE J-1772 -mukaiset säädökset. Tesla käyttää ja tuo Eurooppaan SAE J-1772 mukaisia latausasemia ja hyödyntää tuplalatausta, eli kahta ulostuloa nopeuttaakseen latausta 2x40A, mikä on täysin laillista. EU-mallistoihin erona on vain pistokkeen malli, jotka muutoin täyttävät samat vaatimustenmukaisuudet. USA-standardien SAE J1772 ja IEC 62196-3 IP-suojaus on vähintään samalla tasolla kuin EU:n SAE J1772 ja IEC 62196-3 -latauskaapeleissa määritetty IP54. Myös alemman tason suojuuksella olevia kaapeleita saa käyttää, mutta niiden käyttöä on rajattu ympäristön olosuhteiden mukaan (esim. parkkihalli tai autotalli IP44). (Charging technology –. 2018.)







TAULUKKO 5. Otanta latausasemista (Siemens Versicharge –. 2018; Clipper Creek –. 2018; Manzanita Micro –. 2018)

Malli	V (U)	I (A)	P (kW)	Suojaus/EMC	H (\$)
Siemens VersiCharge	208-240	40	7	NEMA 5, SAE J-1772	579
Clipper Creek	208-240	60	12	NEMA 5, SAE J-1772	888
Manzanita Micro	208-240	30	7	NEMA 6-50, SAE J-1772	749

3.5.2 Pistoketyypit

Lataamiseen kulutettavan ajan määrittämiseen päästään tutkimalla taulukon 6 tietoja. Latausajan määrittämiseen on käytetty standardi 100 kWh akkua. Laskenta menee periaatteellisesti siten, että 100 kWh saavutetaan tunnin kuluessa 100 kW:n teholla. Käytännössä sähköajoneuvokäytön lataustehon mitoittukseen vaikuttavat käyttäjät tarpeet sekä akuston tyyppi. Taulukon 6 mukaan Kiinan sähköverkostolla on paras vaihtovirtalatauskyky, joka näkyy 6,5 tunnin latausaikana 100 kWh akulle noin 15,4 kW:n latausteholla. Tasavirtalatauksista paras on Yhdysvalloilla 150 kW sisäänmenoteholla. Euroopassa tilanne on vielä AC/DC-latauksen standardoinnin kannalta vähäisempi.

TAULUKKO 6. Latausasemien pistoketyypit maantieteellisen sijainnin, ajan ja konstruktion perusteella (Charging technology –. 2018, 2–56)

Tyyppi i/maa	V _{max} (U) AC/ DC	I _{max} (A) AC/DC	t (h) AC/DC	AC-pistoke & standardi	DC-pistoke & standardi
1/USA	250/600	32/250	12,5/0,6 7	 SAE J1772/IEC 62196-2	 SAE J1772/IEC 62196-3
2/EU	250/480	32/200	12,5/1,0 4	 IEC 62196	 IEC 62196-3
3/GB/ T	480/720	32/125	6,5/1,1	 GB/T20234.2- 2015	 GBT/20234.3- 2015

Latausajat ovat E-mobilityn (Charging technology –. 2018) mukaan maksimiarvoista laskettuja, joten käytännössä markkinoiden tuotteissa on paljon hajontaa ja näitä Teslan tuplalatausasemia ei ole tässä huomioitu. Käytännössä yhdistämällä useampi laturi saadaan latauksia nopeutettua, mikäli akku kykenee vastaanottamaan suuria latausvirtoja. Suomessa käyttöön riittää EU:n vaatimusten mukainen J1772 latauspistoke, jolla voidaan ottaa yksivaihevirtaa suoraan pistorasiasta. Hassisen (2017, 32) mukaan, suomalaisesta yksivaihevirrasta pistorasiasta saa ulos 8 A virtaa ja kaiken kaikkiaan noin 1,8 kW teholla. Tavallisen pistorasian käyttö on tietysti väliaikainen ja yksi hätävaihtoehto

lataukselle. Tässä pitää huomata, että latausasemalla on huomattava riippuvuussuhde sähköajoneuvon käytölle. Latausasemasta huolimatta Suomen sähköverkko ei riitä vielä järkeviin latausaikoihin latausasemankaan muodossa.

3.6 Lisävarusteet

Sähkökäytön muunnoksen johdosta useimmat hallintalaitteet menettävät alkuperäisen toimintakykynsä ja tätä myötä myös toimintaominaisuutensa. Mikäli ohjaustehostin on toteutettu hydraulismekaanisesti, se pitäisi adaptoida uudelleen käyttöön ja korvata sähköisellä vastineella (ks. Electric Power –. 2018). Matkustamon lämmitykselle on olemassa lakisääteiset vaatimukset, jotka edellyttävät 6 kW:n lämmitystehoa talviolosuhteissa (Ilomäki 2018; L 30.6.2010/122). Tämän lisäksi matkustamon viihtyisyyttä tulisi ajatella kesähelteiden kannalta ja mitoittaa järjestelmään myös ilmastointilaitte.

Muunnosajoneuvon ollessa jokin *early-model* on järkevää luoda kokonaiskuva hankittavien laitejärjestelmien komponenteista. Mikäli muutettava malli on uudempi ajoneuvo, tähän voidaan taas tarjota uusia tehokkaita ja edullisia ilmastoinnin osia, kuten taulukossa 7 on esitetty. Mukavuus koostuu kuljettamon juuri oikeasta lämpötilasta. Lämpötilan hallintaan on koottu yhdysvaltalaisen yrityksen Sean Hyland Motorsportin ilmastointikomponenttien osalista, jolla lämpötila pysyy täysin hallinnassa. Ilmastointijärjestelmän toimivuuteen sähkömuunnoksessa on tehty paljon kattavia tutkimuksia (ks. Peng – Du 2016), eikä siihen ole tarvetta pureutua sen syvemmin.

TAULUKKO 7. Ilmastoinnin ja huurteenpoiston osalista (Electric Air –. 2018; Vintage Air –. 2018; Ford Superflow –. 2018; Chrome Drier –. 2018; Upgrade GEN –. 2018)

Osa	P _{con} (W)	U (V)	I _{con} (A)	m (kg)	H (\$)
Kompressor	N/A	9-30	50	6,8	1495

(jatkuu)

Taulukko 7. (jatkuu)

Tuuletinjärjestelmä (Tarvittaessa)	N/A	N/A	N/A	N/A	699
Kenno	N/A	N/A	N/A	N/A	139
Kuivain	N/A	N/A	N/A	N/A	75
Hallintapaneeli	N/A	N/A	N/A	N/A	199

EV Westin (Canadian 1500W –. 2018) matkustamolämmitin tuottaa 1,5 kW tehon, joten näitä tarvitaan neljä kappaletta vaatimusten täyttämiseksi. Saatavilla olisi myös 3 kW lähtötehoisia sarjoja, mutta nämä valitaan aina tilannekohtaisesti. Mikäli alkuperäinen jarrujärjestelmä, keskuslukitus tai muu osa vaatii ali- tai ylipaineen toimiakseen, se saadaan onnistumaan EV Westin (Conversion Vacuum –. 2018) osakomponentilla. Muita ongelmia ei pitäisi ilmetä henkilöajoneuvopuolella, sillä kaikkiin sähköominaisuuksiin on mahdollista liittää DC-DC-muunnin, joka ottaa korkealähdejännitteensä akulta muuntaen sen alkuperäiselle autoelektroniikalle soveltuvaksi. Muuntimille on asetettu erilaisia sähkötekniisiä arvoja taulukon 8 mukaan.

TAULUKKO 8. Korkea/matalajännitemuunnin, matkustamon lämmitys sekä alipainepumppu (Manzanita Micro –. 2018; DC/DC Converter –. 2018; Electric Power –. 2018; Canadian 1500W –. 2018; Conversion Vacuum –. 2018)

Malli	P_{con} / P_{max} (W)	U (V) in/out	I_{con} / I_{max} (A)	m (kg)	H (\$)
DC/DC	400/480	55-216/12-27,6	30/25	2,3	229
DC/DC	1500	36-320	N/A	N/A	126
DC/DC	~100	12	8/12	3,2	189

3.7 Tekniikan analyysi

Sähkökäyttöjä miettiessä on syytä kiinnittää huomio sähköturvallisuuteen ja etsiä mitoituskeinoihin parhaimmat luokitukset ja standardit täyttävät komponentit. (ks. IP-luokitusopas. Käytännön pikaopas IP-merkintöihin. 2018, 5). Vaikka mitoittavilla laitteilla voi olla korkea IP-luokitus, se ei kuitenkaan takaa täyttä turvallisuutta. Suomen sähköverkosto on opinnäytetyön kirjoitushetkellä hitaasti kehityksessä, mutta infrastruktuuriltaan silti täysin riittämätön ylläpitämään koko kansan ajoneuvokantaa sähköisenä. Sähköajoneuvomuutos onkin eräänlainen mahdollisuus esimerkiksi henkilöille, jotka tuottavat itse oman sähkövirtansa esimerkiksi teollisuushallin lämmityksen yhteydessä.

Sähköturvallisuuden lisäksi on huomioitava ISO 16750-3 (2012, 1) mukaiset mekaanisilta ominaisuuksiltaan riittävän lujat kiinnitykset. Korin kiinnitykset tulisi kestää noin 30 - 50 g:n voimat ja mitoituskeinojen täytyy tehdä ikuisiksi sekä luotettaviksi. Mekaanisten ominaisuuksien lisäksi täytyy huomioida sähköominaisuudet (ks. mittausmenetelmät ISO 16750-3 2012, 3): 1.) Taajuuden muutos ajan funktiona $\max \pm 5 \%$, 2.) Jännitteenmuutos $\pm 0,2 \text{ V}$ ja 3.) vastuksen muutos $\pm 10 \%$. Sähköominaisuudet mitataan käyttöön spesifioidulla oskilloskoopilla ja niistä toteutetaan sähköinen pöytäkirja aikaleimalla.

EV Westin (Tesla Model –. 2018a; Curtis 1239e-8521 –. 2018; Oil-Cooled Curtis –. 2018; Zytekin 55kW –. 2018; Warp 11 –. 2018; Dual Siamese –. 2018) valikoimasta ainoastaan Zytekin 55kW (2018d) -moottorille on ilmoitettu IP-luokitus 6K6K. Tarkemman selvityksen ja tuotetiedustelun jälkeen selvisi, että kaikilla moottoreilla on vähintään IP65-luokitus. IP65 tarkoittaa lähdepuolelta tulevan veden suojattua ja pölytiivistä konstruktioita, joka kestävä joka suunnalta tulevan vesisuihkun. Zytekin laite on täysin suljettu, minkä lisäksi se luokituksensa mukaan kestävä voimakkaan joka suunnalta tulevan vesisuihkun. Laitteet ovat täysin käyttökelpoisia Euroopan markkinoille.

PMDC-moottorin huonoin puoli on, että kestopagneetti voi demagnetisoida. Demagnetisoitunut DC-moottori menettää toimintakykynsä. Demagnetisoinnin syinä ovat esimerkiksi korkea lämpötila tai virtapiikki piiriin. Kestopagneettimoottori voi olla myös siinä mielessä epäkäytännöllinen, että se

on aina magnetoiva-asenteinen. Tämä tarkoittaa sitä, että moottori kerää käytännössä kaiken magnetoituvan materian itseensä. DC-moottorissa on myös hyviä puolia, kuten keskimäärin alhaisempi hinta, kuin AC-moottorilla. Käyttöjännitteet voidaan pitää alhaisempina ja hyötysuhdetta voidaan pitää yleisesti ottaen AC-käyttöä parempana.

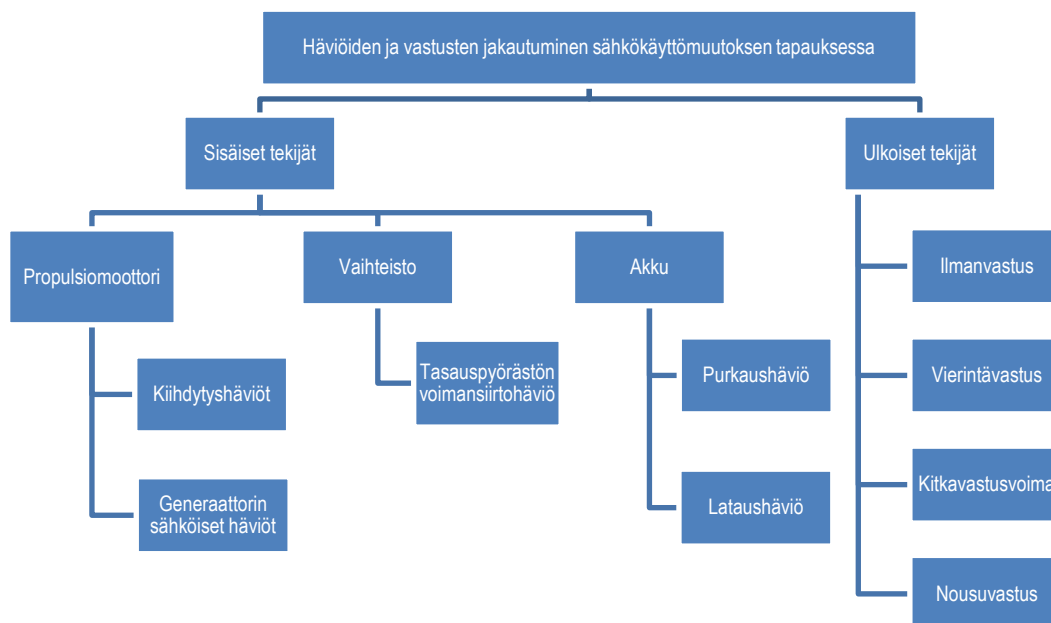
AC-moottorin huonoin puoli on, että se on viimekädeltä kalliimpi ratkaisu siinä käytetyn taajuusmuuttajan hintavuuden johdosta. Taulukosta 1 voitaisiin laskea AC/DC-moottorin vääntömomentin perusteella teho ja suhteuttaa se kokonaismuutoksen kustannuksiin. Taulukosta 2 voidaan valita moottorin kanssa yhteensopiva muunnin ja laskea näiden kokonaiskustannukset. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että molempien moottoreiden tehon ja hinnan välinen suhde on parhaimmillaan yhtä alhainen, mutta AC-moottori maksaa lopulta enemmän.

Kontrollereiden (ZEVA MC1000C –. 2018; NetGain WarpDrive –. 2018; Rinehart PM150DX/DZ –. 2018; Rinehart PM100DX/DZ –. 2018) suojausluokitukset ovat EMC-yhteensopivia ja ISO 16750-3 mukaisesti testattuja IP6K9K mukaisilla suojauksilla. On myös syytä huomioida moottorin ja kontrollerin valinnassa sähköenergian regeneroitumisen ominaisuus. Jarrutusenergian talteenoton mekanismi muuttaa ajoneuvon jarrutuksessa pyörivän sähkömoottorin toimintaa siten, että moottorin tuottaman virran suunta kohdistuu takaisin kontrollerille ja tätä kautta varastoon. Regeneroiva jarrutus vähentää jarrupalojen kulumista ja lisää ajoneuvon hyötysuhdetta. Jokaisessa kontrollerissa on mahdollisuus regeneroivan energian talteenottoon.

4 JARRUKONSTRUKTIO- JA AJOTILATUTKIMUS

4.1 Mitoituksen yleiskuva

Käyttövoimamuutettavan ajoneuvon ajotilatutkimus tulee tehdä aina tilannekohtaisesti. Tutkimuksessa otetaan huomioon häviöiden ja vastusten yhteisvaikutus ennalta määritetyissä tapauksissa. Häviöiden ja vastusten erottelemiseksi ja selkeyttämiseksi voidaan apuna käyttää kuvaa 6. Sisäiset tekijät huomioivat propulsiomoottorin, vaihteiston ja akuston laadun.



KUVA 6. Sähkökäyttöisen ajoneuvon suunnittelussa huomioon otettavat perusmuuttujat (Ilomäki 2014; Wong 2001; Haataja 2017)

Sisäisiin tekijöihin lukeutuvat Ilomäen (2014) ja Wongin (2001) mukaan kiihdytys-, voimansiirto-, lataus- ja purkaushäviöt sekä muut oletetut sähköiset häviöt. Kiihdytyshäviöt syntyvät ajoneuvon kiihdyttäessä kerran maantieajossa tai monta kertaa peräkkäin kaupunkiajossa. Kiihdytyshäviö syntyy redusoidun massan, eli ajoneuvon dynamiikan kannalta merkitsevien massojen pyörimisliikettä vastustavasta voimasta. Propulsiomoottorin sisäinen resistanssi pakottaa sähkövirran kulkiessa johtimien läpi materiaalin lämpöliikkeeseen. Generaattorin sähköiset häviöt siis koostuvat pääasiassa lämmön muodostumisesta käämeissä ja laakereissa. Vaihteiston häviöt koostuvat moottorilta kardaanin välityksellä

hypoidipyörästä suorakulmanmuutoksesta ja laakerien kitkoista. Akustolta häviöiden on ajateltu koostuvan sisään- ja ulosoton hyvyydestä.

Ulkoiset häviöt muodostuvat ajoneuvoon kohdistuvista vastusvoimista. Näihin vastuksiin kuuluvat Ilomäen (2014) ja Wongin (2001) mukaan vierintä-, kitka-, nousu- ja ilmanvastuksen olemassaolon olettaminen. Vierintävastus syntyy renkaan ja tienpinnan välisestä toisiaan vastustavasta tekijästä ja sen nähdään kasvavan nopeuden kasvaessa. Kitkavastus perustuu Stokesin teorian mukaisiin perusteisiin renkaan adheesiosta ja nousuvastus tien kaltevuuden vaikutukseen. Ilmanvastuksella kuvataan ilman kohdistamaa vastusta ajoneuvon otsapinta-alan suhteen etenemisliikkeeseen nähden vastaisesti.

Ensin selvitetään avainmuuttujat ja sovitetaan vääntökäyrä laskelmiin siten, että moottori ylittää sille asetetut reaali maailmaa simuloivat vaatimukset. Esimerkiksi ennen ajotilatutkimuksen tekemistä voidaan löytää lähdekirjallisuuksista vinkkejä, joista voidaan rakentaa ennakkohypoteesi ja jonka mukaan rakennetaan mahdollisimman realistinen tutkimus. Henkilöajoneuvossa normaalikäytön tehovaatimukset ylittävät harvoin 20 kW:n rajan (Miller 2004, 88). Tässä on oletettu laskennassa, ettei tehovaatimuksien pitäisi olla kovinkaan usein maantienopeuksilla yli 20 kilowattia. Kiihdytystilanteessa hetkellinen virrankulutus ohjelmoidaan siten, että se pysyy fysikassaan tienpinnassa ja on turvallinen käyttää, jolloin tehonkulutus määräytyy käytännössä syötetyn virtakäyrän mukaisesti, tässä tapauksessa enintään 200 kW.

Sähkömoottoreiden ja akuston hyötysuhteita arvioidaan tilannekohtaisesti. Tavarantoimittaja EV West on yleensä antanut riittävän datan kokonaishyötysuhteen laskemiseksi, tai arvot voi tuotetiedustelun avulla pyytää suoraan valmistajalta. Muista hyötysuhteista, Joachim, Börner ja Kurz (2011) teknisessä julkaisussaan ovat esittäneet tasauspyörästä hypoidivaihteen hyötysuhteeksi 90 - 93 %. Sama arvo esiintyy myös Niskasen (2016, 46) luentomateriaalissa. Käytän tätä arvoa laskiessani ajoneuvon laskennallista suorituskkyä. Häviöiden suuruusluokaksi tulee tällöin noin 10 %.

Vertailumallina on käytetty Stage 3 Motorsportin (Drawing Ford –. 2018) suorituskkykuvaajaa nykypäivän modernin ottomoottorin suorituskvyn ja

ajotilatutkimuksen kuvaamiseksi. Laskennan ja mitoituksen jälkeen sähkömoottori voidaan ohjelmoida ja käskyttää vastaamaan vertailumoottorin mitattavissa olevia arvoja.

4.2 Mitoitusmetodologia

4.2.1 Jarrukonstruktion muutos

Ennen varsinaiseen teoreettiseen tarkasteluun ja laskentaan siirtymistä on oltava tarkka käsitys ajoneuvon perusmitoista. Työssä on käytetty taulukon 9 arvojen mukaisia lähtöarvoja peruskonstruktion laskemiseksi. Ilomäki (2014; 2015) on esittänyt luentomonisteissaan seuraavia laskennallisesti määritettäviä ajoneuvoteknillisiä parametrejä (ks. Haataja 2017; Wong 2001). Kaava 4 ilmaisee painopisteen etäisyyden taka-akselista, kaavassa 5 lasketaan painopisteen korkeus ja näillä arvoilla voidaan määrittää ajoneuvon painojakauma ennen ja jälkeen sähkökäyttömuutoksen esimerkiksi muutoskatsastuksen yhteydessä. Asemaparametrit on esitetty kaavoissa 6 ja 7, joissa muuttuja φ_x edustaa massapisteen etäisyyttä etuakselista suhteessa akseliväliin. Asemaparametri φ kuvaa painopisteen korkeuden ja akselivälin suhdetta kaavassa 7.

$$L_2 = \frac{m_1}{m} L \quad \text{KAAVA 4}$$

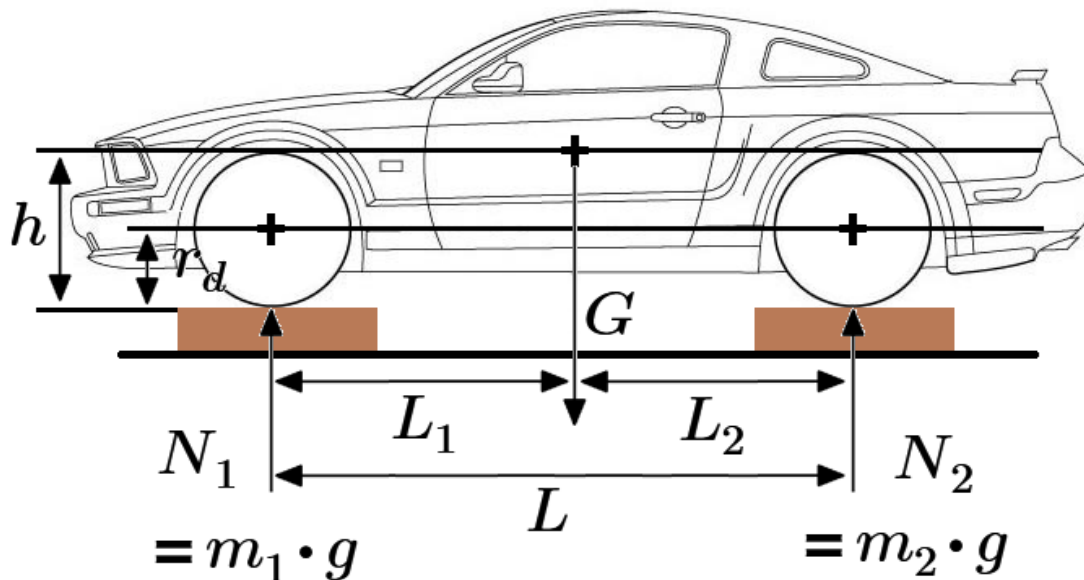
$$h = \frac{\left(\frac{m_1 k_* L}{m}\right) - L_2}{\sin \alpha} \quad \text{KAAVA 5}$$

$$\varphi_x = \frac{L_1}{L} \quad \text{KAAVA 6}$$

$$\varphi = \frac{h}{L} \quad \text{KAAVA 7}$$

Kuvaan 7 on selvitetty ajoneuvon mittojen suhde kaavoihin 4, 5, 6 ja 7. Nämä dimensiot voidaan mitata kokeellisesti jokaisesta muutettavasta ajoneuvosta. Useimmiten ajoneuvolle löytyy alustavan kohteen mittoja riittävästi internetistä, kuten tässä tapauksessa on hyödynnetty esimerkiksi Fordin dimensioita (USA Mustang –. 2015). Ajoneuvon rakenteellisessa käsitteellistämisessä on hyödynnetty Haatajan (2017) materiaalia. N_1 ja N_2 muuttujien kaksoismerkitys on korin pyörän kautta tienpintaan kohdistama akselikuorma, mutta myös sen

vastavoima eli tienpinnan kohdistama tukivoima pyörää vasten. Tässä pitää tietää se, että tukivoimien N_1 ja N_2 sekä akselidimensioiden etäisyydellä L_1 ja L_2 ajoneuvon rakenteellisen massakeskipisteen välillä on yhteys ajodynamiikassa.



KUVA 7. Ajoneuvon rakenteelliset parametrit hieman sovellettuna (Ford Drawing –. 2018) piirroksesta

Muutoskatsastuksen kannalta muutosajoneuvon tulee vastata mahdollisimman lähelle alkuperäisiä rakennedimensioita, eli jarrutussuureita sekä dynaamisia akselikuormituksia. Esimerkiksi jarrudynamometrimittauksesta voisi käydä ilmi tasaiset etuakseliston jarrutusvoimat 5 kN ja taka-akselistolta 4 kN, 0 % erolla toisiinsa nähden. Dynaamisten akselikuormitusten merkintään on käytetty muuttujia N_{1d} ja N_{2d} kuvaamaan dynaamista kuormitusta. Staattisen ja dynaamisen kuormituksen erona on, että dynaamisessa kuormituksessa ajoneuvon nähdään liikkuvan ja olevan tienpintaan nähden muuttuvassa ympäristössä. Tapauksia voisi tämän tutkimuksen kannalta esittää kolmenlaisia, ala- ja ylämäki, sekä tasamaa. Dynaamiset akselikuormitukset lasketaan oheisesti kaavoilla 8 ja 9. Ala- tai ylämäessä otetaan huomioon lisäksi tienkaltevuus (Haataja 2017, 33). Muutoskatsastuksen kannalta riittänee yksinkertaistettu tarkastelu, jolloin lähinnä tarkistetaan akselimassat ajoneuvon ollessa punnitusvaa'oilla.

$$N_{1d} = ((1 - \varphi_x) + \varphi_z)G \quad \text{KAAVA 8}$$

$$N_{2d} = (\varphi_x - \varphi_z)G \quad \text{KAAVA 9}$$

Jarrutussuureiden osalta jarruvoimien tulee olla dynaamisten akselikuormitusten suhteiden mukaiset. Kitkavaatimukset dynaamisten akselikuormien suhteen lasketaan Haatajan (2017, 35) mukaan etu- ja takapyörille kaavoilla 10 ja 11. Kitkavaatimuksia voidaan myös tarkastella lepokitkojen perusteella. Kitkavaatimukset kuvaavat tarvittavan kitkan mitattavaa arvoa, jotta rengas pitää tiessä jarrutuksessa.

$$\mu_1 = \frac{B_1}{N_{1d}} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$\mu_2 = \frac{B_2}{N_{2d}} \quad \text{KAAVA 11}$$

Oletetaan jarrujen jarrutussuureiden olevan etuakselilta yhteensä B_1 ja taka-akselilta B_2 . Tästä saadaan kokonaisjarruvoimaksi B . Jarrutussuhteen määrittämiseksi verrataan kokonaisjarruvoimaa ajoneuvon tienpintaan kohdistamaan massaan. Jarrutussuhde kuvaa vakaan ajodynamiikan mukaista jarrutusta kaavalla 12. Lopuksi tarkastetaan jarrutushidastuvuus määräysten suhteen kaavalla 13.

$$z = \frac{B}{G} \quad \text{KAAVA 12}$$

$$a = \frac{B_1 + B_2}{m} \quad \text{KAAVA 13}$$

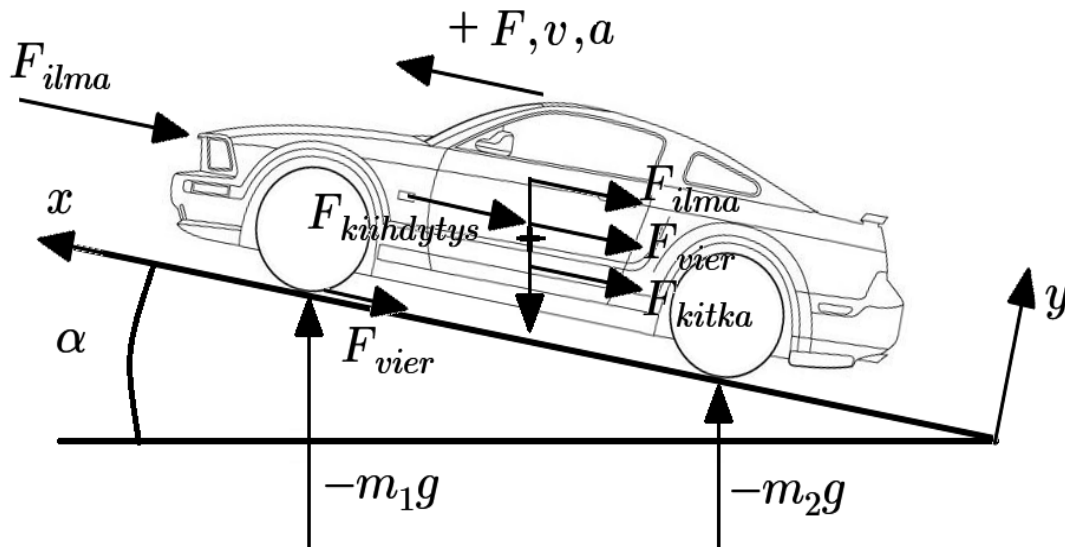
4.2.2 Kokonaisajovastukset

Lasketaan kokonaisajovastukset, joiden perusteella voidaan derivoida ajoneuvoon mitoitettavan moottorin riittävä suoriutuminen. Kokonaisvastuksen laskentakaava 14 on muodostettu Ilomäen (2014; 2015), Wongin (2001, 204), Haatajan (2017), Niskasen (2016) sekä Laineen (1985) luentomonisteista, kirjallisuudenlähteistä sekä laskuesimerkeistä. Kokonaisvastus koostuu fundamentaalisessa osiossa esitetyn kuvan ulkoisista tekijöistä. Ulkoisiin tekijöihin kuuluvat vierintävastusvoima, ilmanvastusvoima, kitkavastusvoima sekä nousuvastusvoima. Kuvaan 8 on koottu kokonaisajovastusten kaavan

jälkeen yleiskuva ajoneuvon vaikuttavista voimista. Ajoneuvon massakeskipisteessä on esitetty kaikki siihen vaikuttavat voimat. Lisäksi voimanuolet on sijoitettu vielä vastavoiman näennäisille paikoille, joten ei pidä hämmästyä tuplamerkinnoista.

$$F_{kok} = F_{ilma} + F_{vier} + F_{acc} + F_{\theta} + (F_{kitka})$$

KAAVA 14



KUVA 8. Ajoneuvoon kohdistuvat voimat, liikkeen suunta ja kaltevuus hieman sovellettuna (Ford Drawing –. 2018) piirroksesta

Vierintävastus muodostuu tien ja renkaan kitkapinnan kosketuksen vastustavasta tekijästä kaavalla 15 (Ilomäki 2014; Wong 2001, 16). Wong (2001, 18) on laatinut taulukon vierintävastuksille suhteessa ajonopeuteen, jota voidaan käyttää vastusvoiman määrittämiseksi.

$$F_{vier} = f_r m g \cos \alpha$$

KAAVA 15

Kitkavastus on määriteltävissä käyttäen Stokesin kitkavastusarvon avulla kaavalla 16 (Ilomäki, 2014; Wong, 2001). Kitkavastusarvon voi minimoida pitämällä rengaspaineet mahdollisimman täytenä ja tasaisena suhteessa toisiinsa. Laskennassa voidaan käyttää olosuhteista riippuvaa eli mitattua kitkakerrointa (Ilomäki, 2018), esimerkiksi Mäkelän, Soinisen, Tuomolan ja Öistämön laatimasta (2014, 180) tekniikan taulukkokirjasta.

$$F_{kitka} = k_A V$$

KAAVA 16

Ilmanvastusvoima on teorisoitu käyttäen ilmantiheyttä, otsapinta-alaa, suhteellista ilmanvastuskerrointa ja ajoneuvon absoluuttista nopeutta. Vastusvoima lasketaan kaavalla 17 (Ilomäki 2014; Wong 2001, 210; Young, ym. 2013, 17). Ilmanvastusvoima kuvaa ilman suhteellista viskositeettiresistanssia, joka kohdistuu ajotilanteessa ajoneuvon pintaa vasten.

$$F_{ilma} = \frac{1}{2} \rho C_w A_f (V + V_0)^2$$

KAAVA 17

Approksimaatioitu otsapinta-ala on laskettu valmiiksi edellä esitettävään laskenta-arvot kokoavaan taulukkoon 9 kaavalla 18 (Wong 2001, 211). Tässä on käytetty mahdollisimman isoa ilmanvastuskerrointa $C_w = 0,475$ (Wong 2001, 213). Tällä menetelmällä voidaan määrittää ajoneuvon otsapinta-ala Wongin (2001) lähdeviitteen avulla. Ainoana muuttujana on ajoneuvon massa, joten laskenta voi olla hyvin epätarkka ja tätä tulee käyttää varauksella.

$$A_f = 1,6 + 0.00056 (m - 765)$$

KAAVA 18

Nousuvastusvoima muodostuu ajoneuvon massan kohdistamasta voimasta tienpintaan sekä tien nousun vaatimuksista. Mikäli tien nousu on negatiivinen, eli tapaus muistuttaa mäkilaskua, niin voima on positiivinen. Ajoneuvolla on tässä vaiheessa potentiaalienergiaa, joka mäenlaskussa vapautuu aiheuttaen marginaalisen helpotuksen ajovastuksiin. Tämä vastusvoima lasketaan kaavalla 19 (Ilomäki 2014; Wong 2001, 255).

$$F_\theta = \pm mgsina$$

KAAVA 19

4.2.3 Vetovoimareservi

Kun kokonaisajovastukset on laskettu, siirrytään määrittämään mitoitettavan esimerkkimoottorin vetovoimakky kaavalla 20 (Ilomäki 2014; Wong 2001, 239 ja 244). Nettovetovoimakky saadaan laskettua vähentämällä laskettu vetovoimakky kokonaisajovastuksista. Mikäli nettovoimalle saadaan positiivinen tulos, sähkömoottori riittää ajovastusten voittamiseen ja liikkumiseen. Mikäli nettovoimalle saadaan negatiivinen tulos, moottori ei ole riittävä.

$$\varphi_{\psi} m \frac{dv}{dt} = F - F_{kok}$$

KAAVA 20

4.2.4 Kiihdytysvastus

Kiihdytysvastusvoima lasketaan kaavan 21 mukaisesti (Ilomäki 2014, 7). Kun saadaan kiihdytysvastusvoima määritettyä, voidaan verrata sitä samanpainoiseen polttomoottorin arvoihin. Tässä kiihdytysvastus on pienempi kuin vastaavanlaisessa polttomoottorissa. Polttomoottorissa vastusvoima on luonnollisesti suurempi. Liikkuvien osien määrän ollessa suurempi myös kiihdytystapahtumaa vastustavat voimat ovat suuremmat. Inertia huomioidaan ja selitetään kaavassa 22.

$$F_{acc} = F_k - (F_{ilma} + F_{vier} + F_{\theta})$$

KAAVA 21

4.2.5 Inertian huomioiminen

Moottorin mitoituksessa on otettava huomioon kaikki pyörivät massavoimat. Pyörien ja moottorin inertian voi laskea Mäkelän ym. (2014, 93) taulukkokirjasta löytyvän tiedon avulla karkeasti kaavalla 22 sekä kaavalla 23. Moottorin massahitaus lasketaan samalla tavalla, ainoana erona on moottorin pyörivän massan ja pyörivän akselin säteen arviointi.

Pyörien sovellettu kokonaisinertia lasketaan kaavalla 22.

$$I_a = i_n m r^2$$

KAAVA 22

Josta pelkälle pyörälle tai moottorille lasketaan inertia kaavalla 23.

$$I_w = m r^2$$

KAAVA 23

Wongin (2001, 254) esittämä propulsio ja pyörien inertiaa koottu kokonaishitauserroin lasketaan kaavalla 24.

$$\gamma_m = 1 + \frac{\sum I_w + \sum I_v i^2}{m r}$$

KAAVA 24

4.2.6 Moottorin suorituskyky sovitettuna voimansiirtovälitykseen

Sähkömoottorin liittäminen takavetoisen ajoneuvon vetopyörästöön alkuperäiseen konstruktiionsa vaatii tämän välityssuhteen huomioimista laskennassa. Ei ole yhdentekevää, mikä välitys vetopyörästössä on, ja se kannattaakin tarvittaessa vaihtaa laskennallisesti tai kokemusperäisesti hyväksitodettuun osaan. Moottorin suorituskyky lasketaan kaavalla 25 (Ilomäki 2014; Wong 2001).

$$P_v = VF_{kok} \quad \text{KAAVA 25}$$

4.2.7 Ajokäyttäytymisen simulointi ja ennakointi

Relaatio ajoneuvon nopeuden ja moottorin nopeuden kesken saadaan laskettua kaavalla 26 (Wong 2001, 239 ja 244).

$$V = \frac{n_e r}{\xi_o} (1 - i) \quad \text{KAAVA 26}$$

Kiihtyvyysskuvaajan paikkansapitävyys voidaan tarkastaa ajovastusten sekä vetovoimareservin perusteella edellä esitetyllä kaavalla 20 (Wong 2001, 255; Laine 1985, 85 ja 81). Laskujen muodostamista varten on tarpeen laskea aika (t) ja matkan (s) suhteen (Wong 2001, 252–253; Mäkelä ym. 2014, 91). Taulukkoon 9 on koottu rakenteelliset parametrit, joiden perusteella voidaan toteuttaa mitoituksen analyysiin johtava laskenta.

TAULUKKO 9. Laskennassa käytettävät ajoneuvon rakenteelliset sekä teoreettiset lähtöarvot

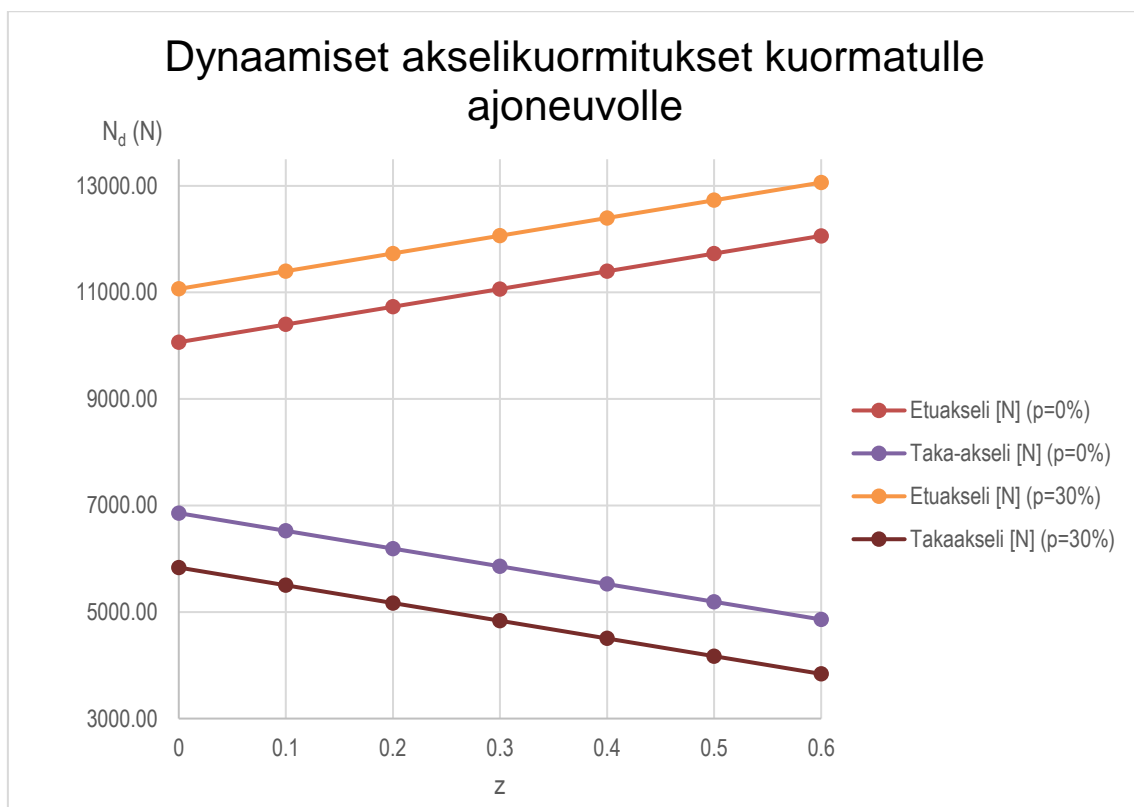
Kohde	Malli	Massa (kg)	n_{con} / n_{max} (rpm)	η (%)	Φ_{Ψ}
Moottori	AC-35X2	N/A	5000/10000	0,88	1,1
Kohde	Malli	Massa (kg)	i_p	R_d (m)	R_r (m)
Vaihteisto	Vetopyörästö	N/A	3,55	N/A	N/A
Pyörät	R19-255/40	N/A	N/A	1,837	0,29
Kohde	g (m/s ²)	A (m ²)	C_w	f_{μ}	φ_x
Teoreettiset arvot	9,81	1,9	0,475	0,011- 0,013	0,4
Kohde	Malli	m (kg)	L (mm)	h (mm)	φ
Ajoneuvon kori	N/A	1450	2700	531	0,2

4.3 Mitoituksen analyysi

4.3.1 Akselikuormitukset ja jarrutussuureet

Oletetaan, että ajoneuvovalmistajat ovat mitoittaneet ECE-R13:n mukaisen tai vastaavan turvallisuussäädöksiä noudattavan jarrujärjestelmän sähkömuunnosta tehtävään ajoneuvoon. Mitattavan ajoneuvon kokonaisjarruvoima tulee olla 8 410 newtonia ECE-R13-standardin mukaisessa $5,8 \frac{m}{s^2}$ hidastuvuusvaatimuksessa. (Haataja 2017, 3.) Mikäli ajoneuvon painojakaumaa muutetaan, myös jarrukonstruktion mitoitus muuttuu.

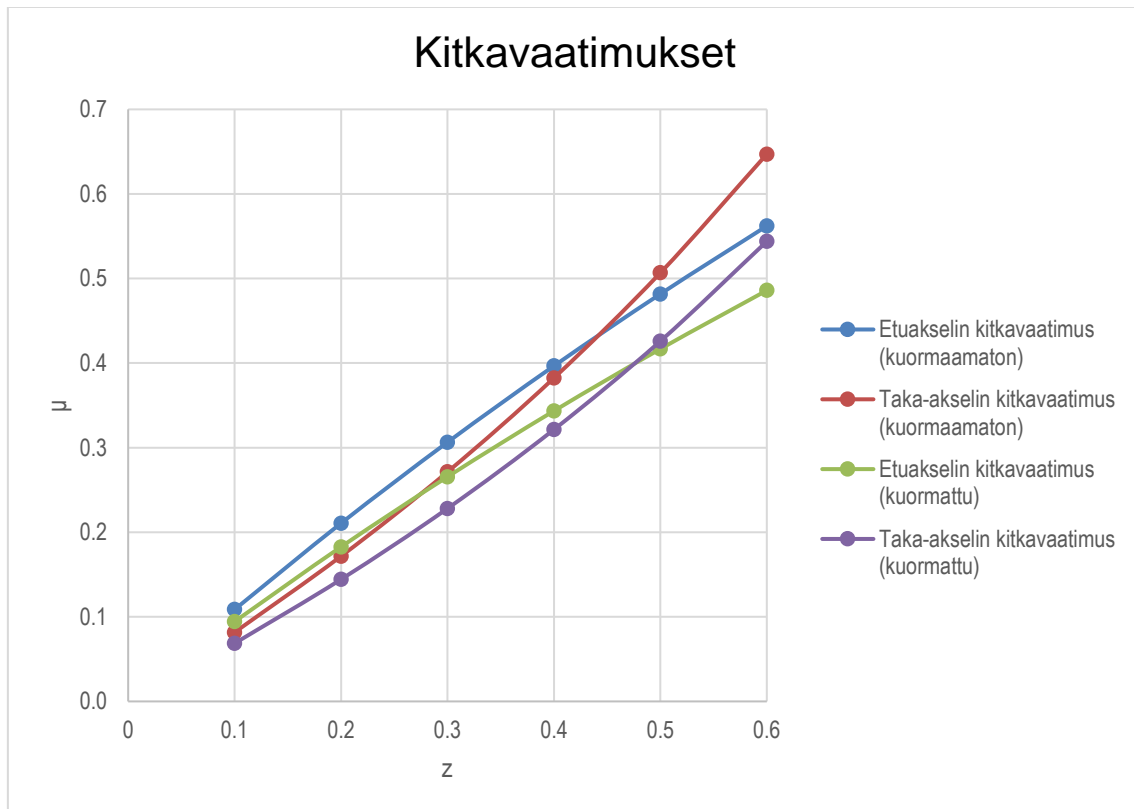
Haatajan (2017, 3) tietojen perusteella sähkömoottorin ja siihen kuuluvien osien asennuksessa on huomioitava mahdolliset painosiirtymät jarrujen ja akselikuormien muutoksissa. Ensimmäiseksi lasketaan staattiset ja dynaamiset akselikuormitukset. Tämän jälkeen kuormitusvoimat esitetään jarrutussuhteen funktiona kuvassa 9.



KUVA 9. Akselikuormitukset jarrutussuhteen funktiona kuormatulla ajoneuvolla

Kuvasta 9 tulkittuna tasaisen akselikuormituksen kasvaessa jarrutussuhde säilyy vakiona. Mikäli akselikuormitukseen vaikuttavat painot jakautuvat eri tavoin,

myös rakenteellinen jarrutussuhde muuttuu. Esimerkiksi peruskonstruktiota painavampi etuakseliston massa näkyy jarrutusvoiman riittämättömyytenä tai abs-jarruttomassa myöhäisenä tai aikaisena pyörän lukkojarrutuksena. Mitoitukset on selvitettävä ja teoreettisten testien lisäksi käytännön koeajoilla.



KUVA 10. Kitkavaatimukset jarrutussuhteen funktiona

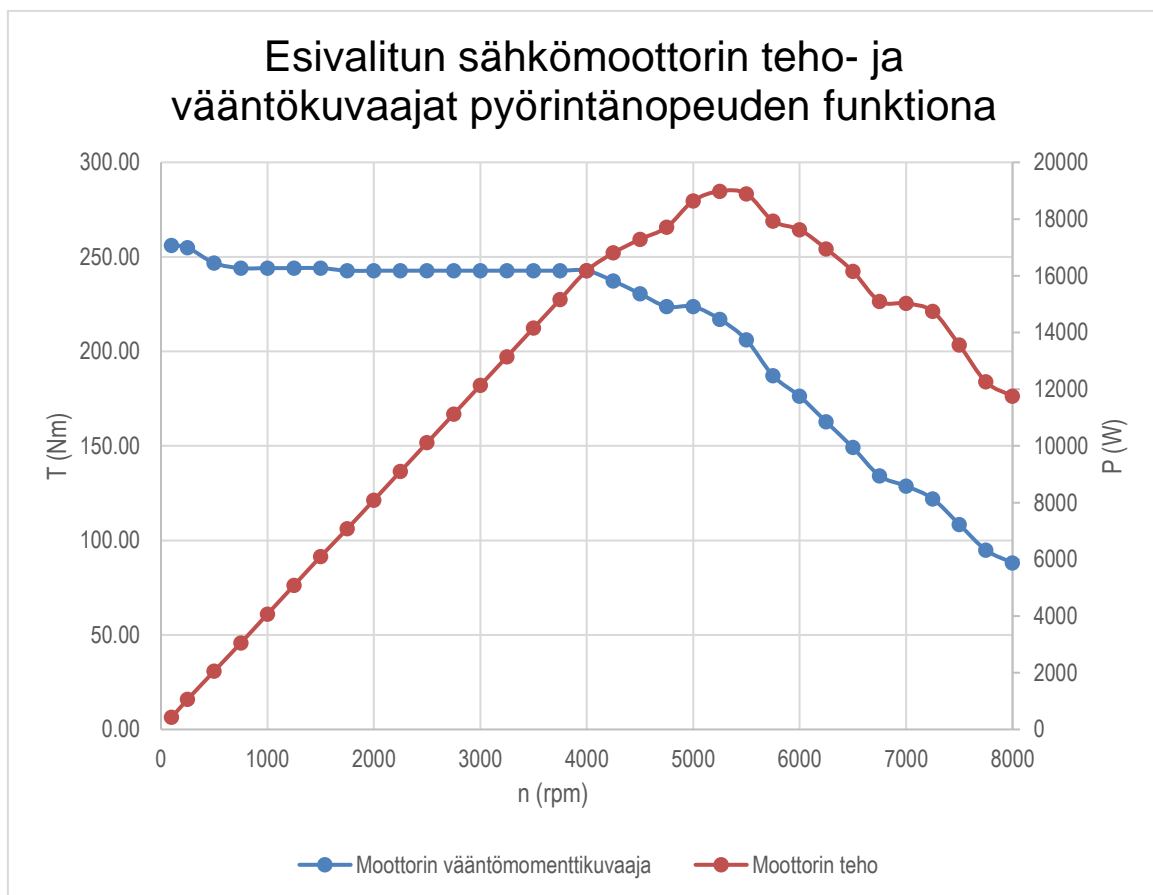
Kitkavaatimuksen arvoiksi tulee $\mu_1 = 0,3$ ja $\mu_2 = 0,5$ edellä esitetyillä kaavoilla 10 ja 11 (Haataja 2017, 35). Kuvassa 10 on esitetty ajoneuvon etu- ja taka-akseliston kitkavaatimusten muodostuminen tasamaalla sekä 30 % ylämäessä kaavan 12 jarrutussuhteen funktiona. Tästä kartasta nähdään, että $z(0,4)$ jarrutussuhteella vaatimukset ovat 0,3 - 0,4. Lopuksi voidaan laskea teoreettinen jarrutushidastuvuus edellisessä alaluvussa esitetyllä kaavalla 13. Hidastuvuudeksi saadaan $6,3 \frac{m}{s^2}$, mikä on hyväksyttävällä tasolla.

4.3.2 Sähkömuunnoksen selvitys

Lopullinen moottori valitaan muutettavaan ajoneuvoon ajotilatutkimuksen sekä jarrukonstruktion muuttamisen käytännön seuraukset tiedostaen. Laskelmat voidaan tehdä tietoteknisillä apuvälineillä, jolloin uusien arvojen ja parametrien

syöttäminen tuottaa automaattisesti uudet tulokset reaaliajassa. Laskijalta odotetaan käytännössä ainoastaan laadullinen tulkinta ja kuvaajien uudelleenskaalaaminen. Tietojärjestelmien avulla voisi olla myös hyödyllistä rakentaa ohjelma tai käytettävä skripti tehokkaamman laskennan mahdollistamiseksi.

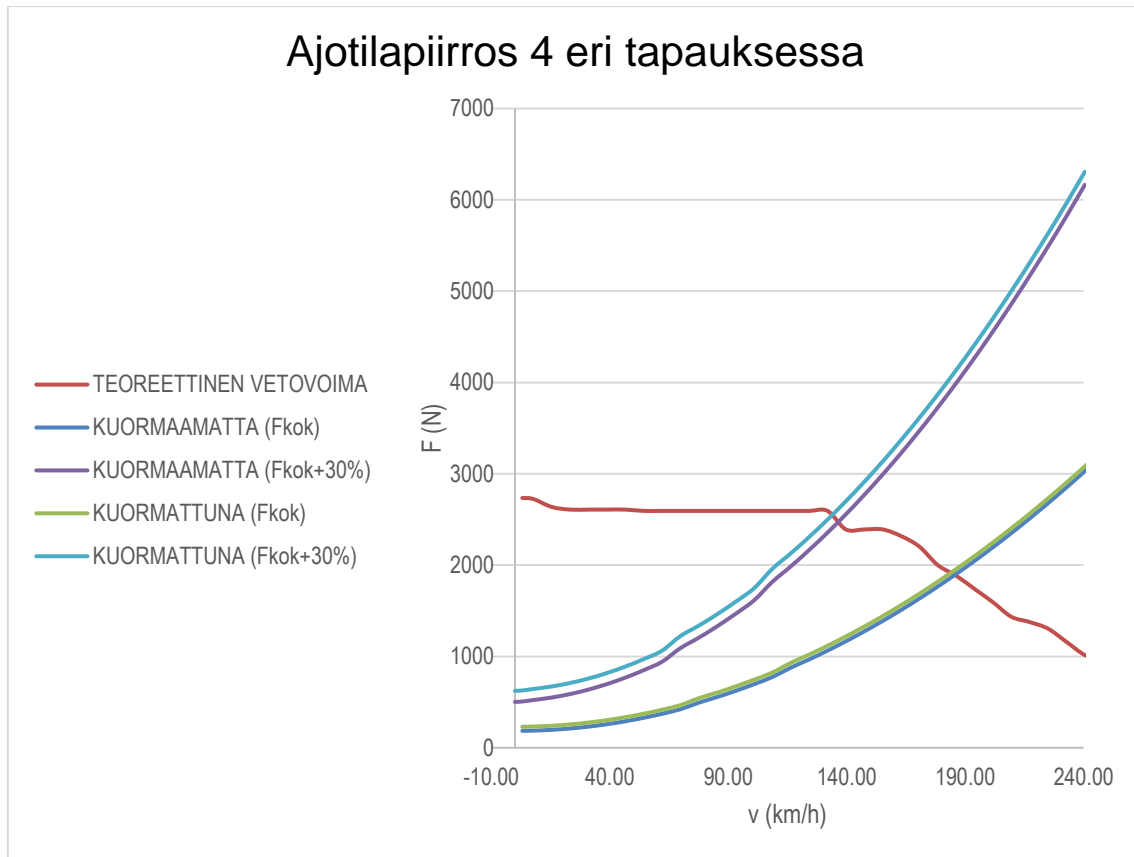
Ensimmäisessä ajotilatukimukseen rakennetussa kuvaajassa kuvassa 11 on kopioitu moottorin suorituskykyarvot mahdollisimman tarkasti valmistajan tarjoamasta mittausdatasta. Vääntö oli saatavissa *imperial*-yksikössä, eli lbs./ft., joka luonnollisesti muutettiin SI-järjestelmän mukaisesti newtonmetreiksi. Tästä voitiin laskea teho ja levittää käyrät kuvaajaan pyörintänopeuden funktiona. Valittu sähkömoottori tarjoaa tasaisen alaväännön 0 - 4 500 rpm kierrosluvuilla. Virransyöttöä vähennetään maksimikierroksille siirryttäessä. Huipputeho on lähes 200 kW akselilta.



KUVA 11. Sähkömoottorin suorituskyvystä pyörintänopeuden funktiona

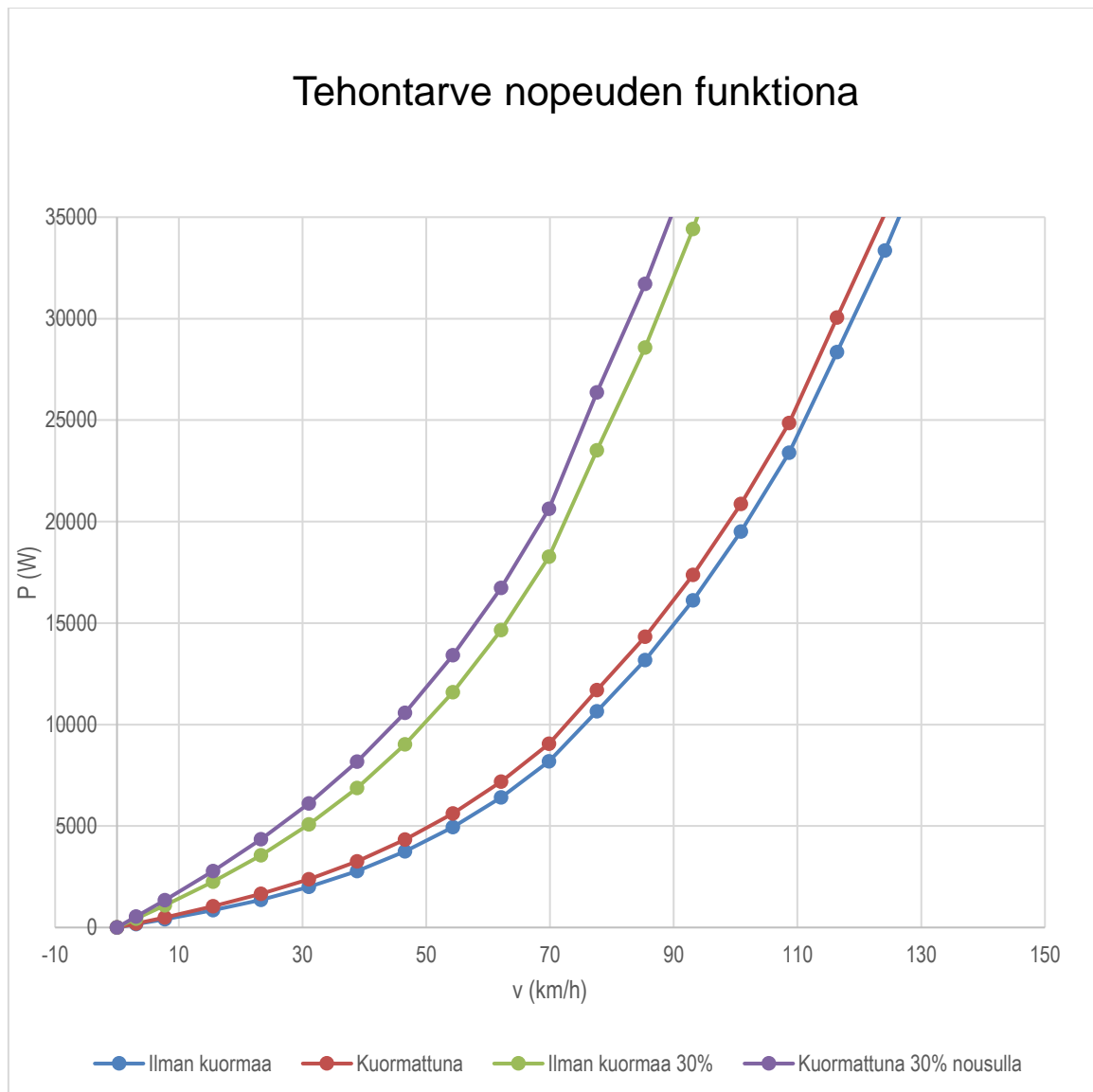
Ajotilapiirrokseseen rakennettiin neljän eri tapauksen kokonaisajovastukset: 1.) kuormaamaton ajoneuvon massa, 2.) kuormaamaton ajoneuvon massa ja + 30 % rankka mäennousu sekä 3.) kuormattu ajoneuvon massa ja 4.) kuormattu ajoneuvon massa + 30 % mäennousussa. Käytännössä 30 % mäennousuja ei ainakaan Suomessa esiinny, mutta tässä on tarkoituksena muodostaa kaksi ääriarvoa, minimi ja maksimi. Todellisuus sijaitsee jossain näiden tulosten välissä.

Ensimmäisessä ja kolmannessa tapauksessa kuvasta 12 tulkittuna nähdään teoreettisen vetovoiman rajaavan ajoneuvon huippunopeuden siihen pisteeseen, missä kuormattu- tai kuormaamaton ajovastusten käyrä leikkaa sen. Kuormaamattoman massan huippunopeus on noin 180 km/h ja moottorin pyörintänopeus noin 2 000 rpm. Arvot eivät oikeastaan eroa juurikaan toisistaan. Toisessa ja neljännessä tapauksessa ei myöskään ole suurta poikkeavuutta toisiinsa nähden. Tien noustessa 30 yksikköä 100 mittayksiköllä vaatii moottorilta huomattavia määriä vääntömomenttia ja virtaa verraten tasamaan vaatimuksiin. Luonnollisesti painavampi ajoneuvo suoriutuu kuormaamatonta ajoneuvoa vastustavammin kuvatuissa ajotilanteissa.



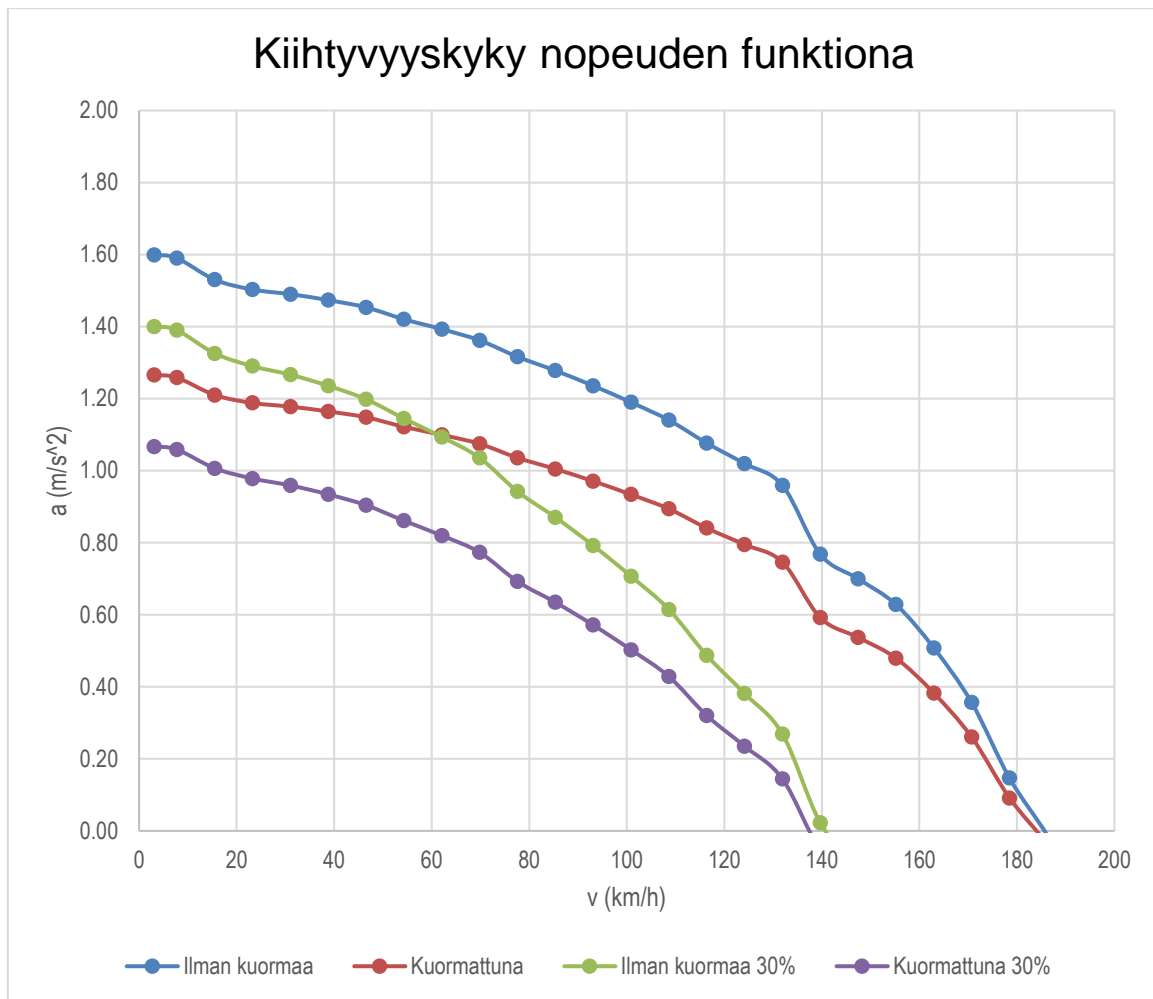
KUVA 12. Neljän eri tapauksen ajotilapiirros

Käytännön tehontarve on esitetty kuvassa 13 siten, että kuvaajaa on suodatettu nopeusalueelle 0 - 150 km/h. Palatakseni alussa esitettyyn hypoteesiin, vaikuttaisi siltä, että Millerin (2004, 88) kertoma pitää lähes paikkansa. Henkilöajoneuvon normaalikäytön tehovaatimukset ovat yleensä alle 20 kW:n. Maantienopeuksien 80 - 100 km/h ylläpitäminen tapahtuu tapauksissa 1 ja 3 noin 10 - 20 kW:n kulutuksella. Tapauksissa 2 ja 4 kulutus kasvaa 25 - 35 kW:n välille. Tässä pitää muistaa, että mitoituksessa arvot on valittu tarkoituksella suurella varmuuskertoimella.



KUVA 13. Teoreettinen tehontarve (staattinen) ajoneuvon nopeuden funktiona

Riittävä kiihtyvyyssyky on yksi tärkeimmistä ajoneuvon mitoituksen tarkastuskohteista ja se on esitetty kuvassa 14. Kuten aiemminkin johdateltiin, tulokset ovat samassa järjestyksessä tarkasteltavasta tapauksesta riippumatta. Mitoitetulla sähkömoottorilla päästään ripeästi liikkeelle ja se suoriutuu todennäköisesti paremmin kuin tässä mitoituksessa on selvitetty. Huomattava on, että ylämäessä suurin muuttumaton nopeus on noin 140 km/h ja tavallisessa ajotilanteessa 185 - 190 km/h. Nämä arvot riittävät Suomen teille aivan hyvin ja mitoitus on riittävän tarkka valitaksemme esimerkkimoottorin prototyyppivaiheeseen.



KUVA 14. Kiihtyvyyssyky nopeuden funktiona

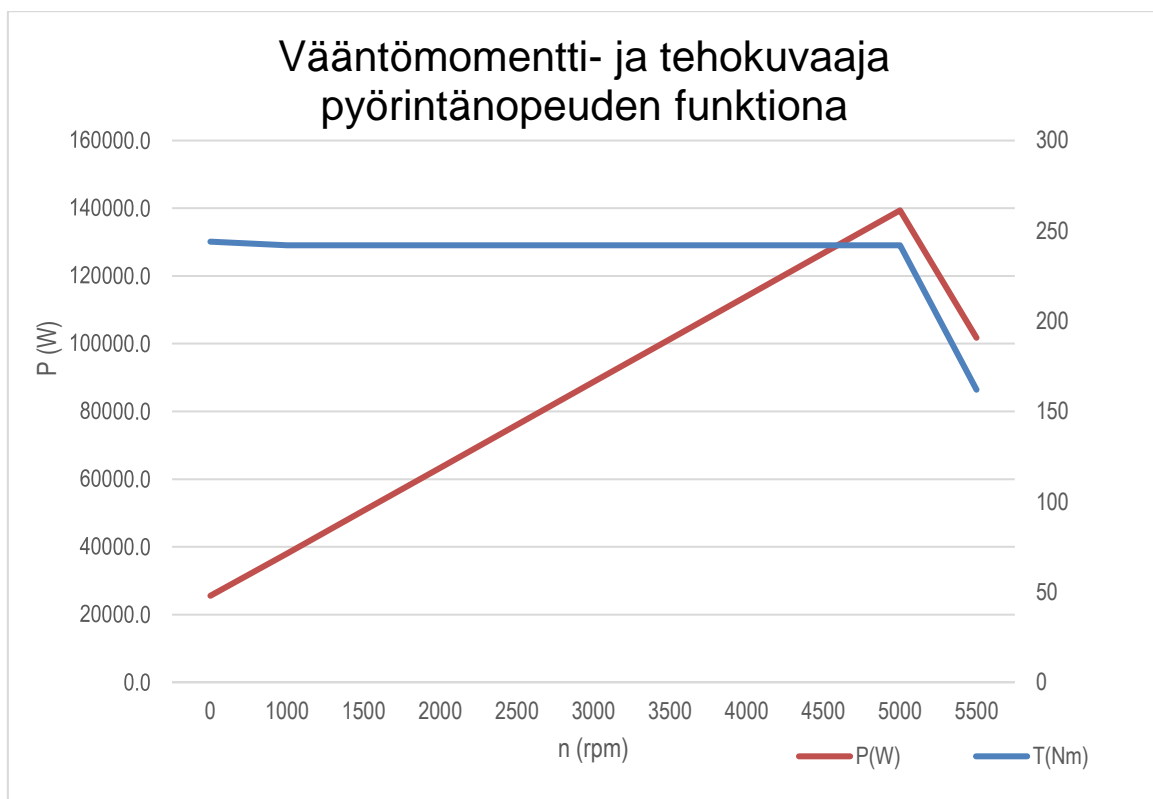
4.3.3 Muunnoksen vertaaminen

Tärkein vertailulähde ajotilatutkimuksen tekemisessä on harkinnanvaraisesti valitun polttomoottorin suorituskyvyn tutkiminen ja mallintaminen. Jotta sähköajoneuvomuutos saataisiin tehtyä lain edellyttämällä tavalla, sen olisi vastattava lähes alkuperäisen moottorin suorituskykyä. Seuraavaksi vertaillaan ottomoottorin sekä sähkömoottorin mitoituksia.

Sähkömuutoksen mitoituksessa on oletettu, että kori ja alusta säilyvät muuttumattomina. Ainoat muutokset käsitteellisellä tasolla koskevat kuusivaihteisen vaihteiston huomioimista ja alkuperäisen polttomoottorin suorituskykykarttaa. Suorituskykykartta on rakennettu hyödyntäen Stage 3 Motorsportin (Dynamometer Performance –. 2018) tehodynamometrituloksia, mutta yksinkertaistetussa muodossa. Vaihteistovälitykset on mallinnettu

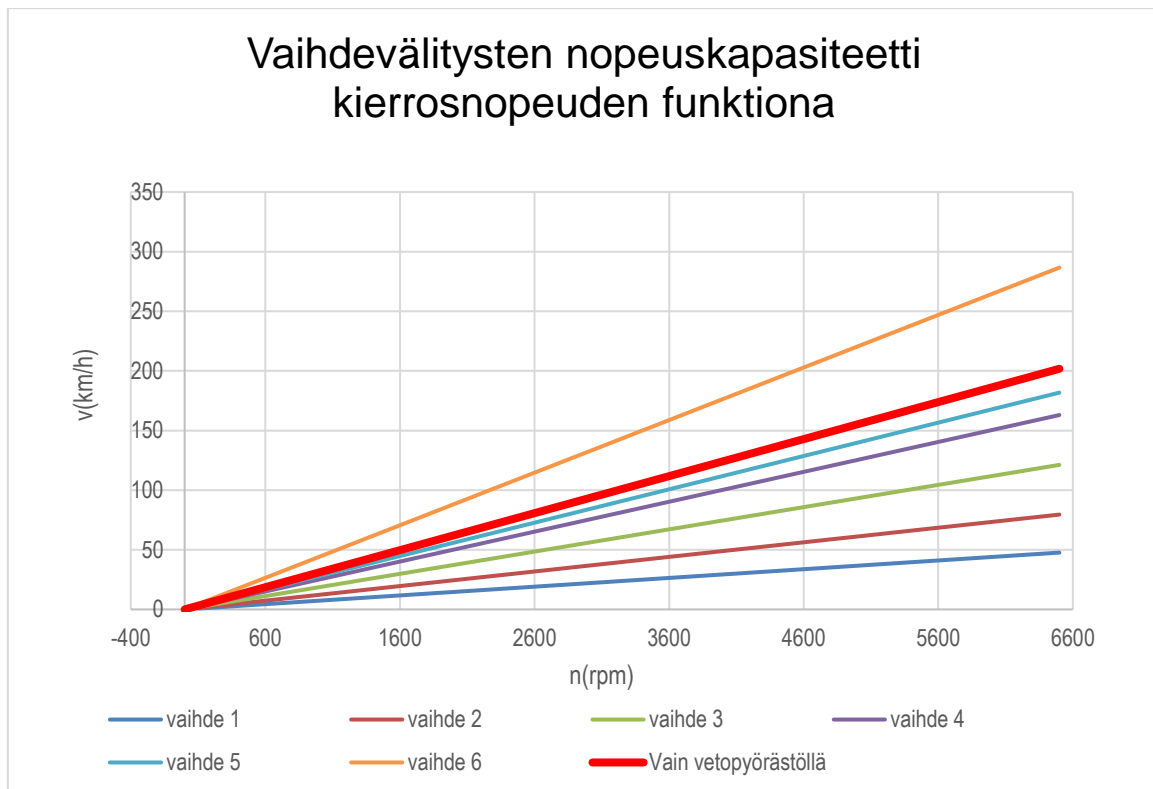
kohtalaisen uudesta Fordista (USA Mustang –. 2018). Tutkimuksen tekeminen on niin yksinkertaista, että riittävän tarkat mittauspöytäkirjat tarjoavat tutkimuksen tekemiselle tarpeeksi tietoa avainmuuttujien laskemiseksi muunnosajoneuvoon.

Kuvan 15 vääntökuvaaja on hyvin karkeasti rakennettu viitteenään Fordin (Dynamometer Performance –. 2018) suorituskyykykuvaaja. Näiden arvojen pohjalta voidaan esittää hyvin yksinkertaisesti maksimiväännön olevan noin 240 Nm ja huipputehon 140 kW kierrosnopeudella 5 000 rpm. Vääntökuvaaja on kaksoispulssiahtimella varustetulle ottomootorille ominainen. Taulukon mittauspisteet eivät ole aivan yhtä tarkkoja kuin sähkömootorille mallinnetussa kuvaajassa.



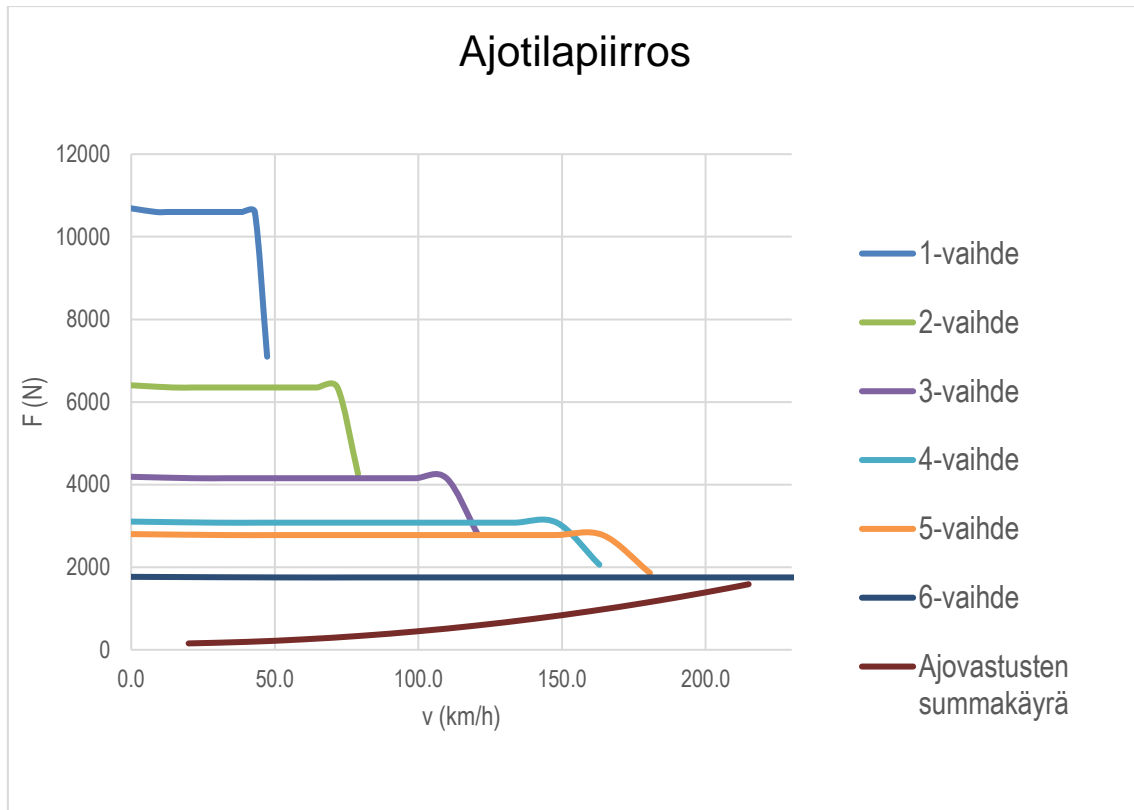
KUVA 15. vääntömomentti- ja tehokuvaaja kierrosnopeuden funktiona

Kuvaan 16 on sovitettu ICE:n sekä EV:n vaihdevälityksille teoriassa suurimmat mahdolliset saavutettavat nopeudet. Kuvasta voidaan tulkita suoran vetopyörästövälityksen vastaavan suoraa 1 : 1 välityssuhdetta. Vertailu ICE:n vaihteistossa 5 vaihde on lähimpänä suoraa välitystä 1,11 : 1, jonka voi tulkita melkein yhdensuuntaiseksi suoran välityksen kanssa. Sähkömuunnoksen kannalta voisi myös harkita sähkömootorin kytkemistä vaihteistovälitteisesti.



KUVA 16. Väliytysten nopeuskapasiteetti kierrosluvun funktiona

Kuvassa 17 on esitetty ICE:n vetovoimakky ja ajovastusten summakäyrä leikkaamassa kuudennen vaihteen rajaten maksiminopeudeksi noin 225 km/h. Kuvasta voidaan päätellä, että kolmannen tai neljännen vaihteen alentava vetovoiman tarve voisi toimia pienemmällä sähkömoottorilla korkeilla kierrosnopeuksilla. Vaihteiston laakerit eivät kuitenkaan välttämättä kestä jatkuvaa 6 000 - 10 000 rpm kierrosaluetta, kun laakerimitoitus on tehty ICE:n kierrosrajalle 6 500 rpm. Tästä syystä mitoitus tehdään oletuksena suoraan vetoakseliin kiinnitettävälle sähkömoottorille.



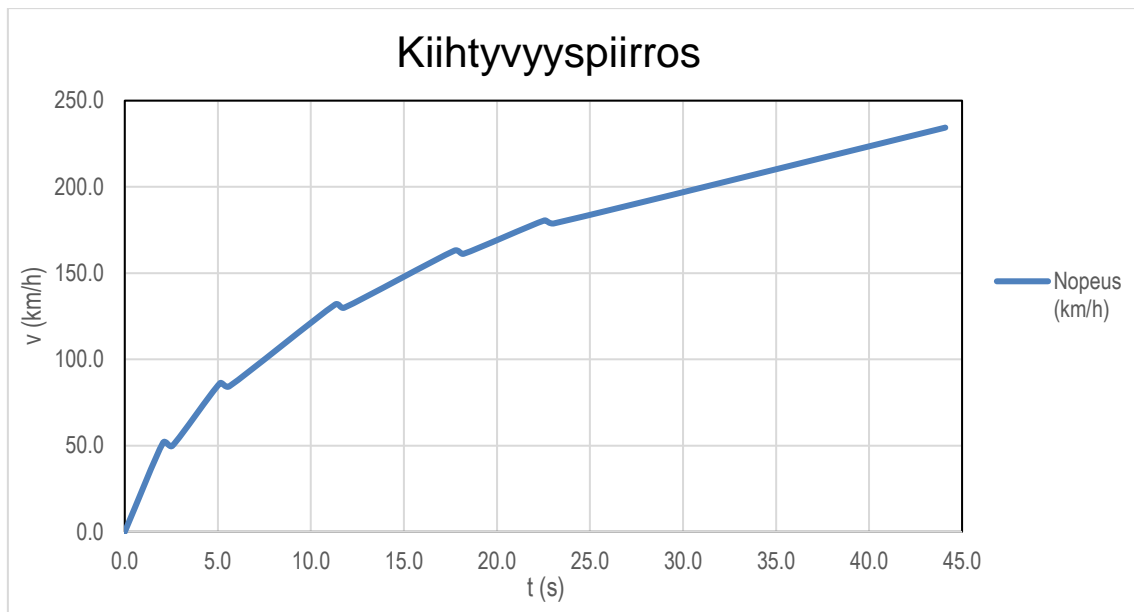
KUVA 17. ICE:n vaihdevälitysten vetovoimaskaala nopeuden funktiona

Kuvassa 18 on puolestaan esitetty EV:n suorituskyky, joka poikkeaa hieman ICE:n vertailuarvosta ja rajaa maksiminopeuden 190 km/h alueelle. Kuvaajista voidaan päätellä, että 20 kW maksimi tehonkulutuksella saavutettava noin 3 000 N vetovoima riittää taloudelliseen ajoon aina maksiminopeudelle asti.



KUVA 18. EV:n vetopyörästövälityksen vetovoima-alue nopeuden funktiona

Kuvassa 19 on esitetty ICE:n kiihtyvyys vaihdevälitysten loppuun asti. Sähkömuunnoksen 0 - 100 km/h kiihdytyksen ajaksi saadaan peruslaskennalla 10 s, joten kiihtyvyyden arvo poikkeaa annettujen arvojen perusteella ICE:n kiihtyvyydestä, joka on noin 5,5 s. Kiihtyvyys on laskennan perusteella välttävä ja esivalittua moottoria voidaan käyttää oletusten perusteella turvallisesti maantieajossa. Sähkömoottorin todelliset suorituskyvylliset arvot tulisi selvittää ensi tilassa dynamometrimittauksella ja tarkistaa tämän jälkeen käytännössä tutkimuksen oikeellisuus.



KUVA 19. ICE:n kiihtyvyysspiirros

5 MUUNNOSTYÖHÖN SOVELLETTAVA LAINSÄÄDÄNTÖ

5.1 Ajoneuvolain ja kansallisten lakien käytön perusteleminen

Tässä osiossa perehdytään ajoneuvolain (11.12.2002/1090) ja sen olemassaolon aikana muovautuneihin lakipykäliin, jotka liittyvät sähkömuunnoksen tekemiseen. Pääasiassa Suomen lainsäädäntö noudattaa Yhdistyneiden kansakuntien sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston säädösten perustaa. Yhdistyneiden kansakuntien (L 23.8.1996/100) E100-sääntö määrittää muutosajoneuvon lakisääteiset vaatimukset tieliikennekelpoisuuden määrittämiseksi. Käytän viimeisimmän lakimuutoksen (Lm 12.8.2013/100) mukaisia ohjeita kuvatessani muutostyön lakisääteistä taustaa. Lisäksi käsittelen Euroopan parlamentin ja neuvoston säädöksen (15.1.2013/168) maahantuojan velvoitteet, sekä säädöksen (9.7.2008/765) yleisten tyyppihyväksyntävaatimusten edellytykset.

5.1.1 Ajoneuvokäsite lainsäädännön mukaan

Lainsäädännöllinen tarkastelu rajautuu M₁- ja N₁-luokan ajoneuvoihin tehtäviin sähkökäyttömuunnoksiin suunniteltavan liiketoiminnan ehtojen mukaisesti. Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) mukaan M₁-luokan ajoneuvot on ensisijaisesti määritelty matkustajien ja matkatavararoiden kuljettamiseen tarkoitetuiksi liikennevälineiksi, jossa on enintään yhdeksän istumapaikkaa kuljettaja mukaan luettuna. N₁-luokan ajoneuvo on määritelty enintään 3 500 kg:n massaiseksi liikenteen kulkuvälineeksi tavarankuljetukseen, jossa on enintään kolme istumapaikkaa kuljettaja mukaan lukien. Muille M- ja N-luokan ajoneuvoille luokittelu menee kokonaismassojen mukaisesti ja ne tulee huomioida suunnitellessa sähkökäyttömitoitusta tapauskohtaisesti.

M-luokan ajoneuvo on pääasiassa henkilöiden kuljetukseen ja N-luokka tavarankuljetukseen taikka määrättyyn erikoistehtävään valmistettu moottorikäyttöinen ajoneuvo, jossa on vähintään neljä pyörää tai telat ja jonka suurin rakenteellinen nopeus on suurempi kuin 25 km/h. M- ja N-luokan ajoneuvoksi ei kuitenkaan

katsota nelipyöräistä ajoneuvoa, joka 11 §:n nojalla katsotaan L-luokkaan kuuluvaksi, 14 tai 15 §:n nojalla traktoriksi tai moottorityökoneeksi taikka 16 §:n nojalla maastoajoneuvoksi. (L 11.12.2002/1090.) Sähkömuunnoksen kannalta M-luokan ajoneuvolle tehtävä muutos voi olla vaikea toteuttaa painojakaumaltaan tasaisesti ja istumapaikkojen määrää voidaan joutua vähentämään kokonaiskantavuuden tullessa vastaan. Pakettiajoneuvossa muutos on M-luokan ajoneuvoa sujuvampaa, sillä siinä kantavuutta on paikkojen määrään nähden enemmän käytettävissä. Pakettiajoneuvon muuntaminen on myös istuimien osalta joustavampi, sillä massaa voidaan jakaa esimerkiksi tekemällä välilattia tavaratilaan ja sijoittamalla akustot sen alle.

Sähkömuunnoksen tekeminen ja liikenteessä käyttäminen edellyttää muutoskatsastuksen tekemistä. Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) muutoksen (3.4.2009/226) 54 pykälän nojalla ajoneuvon on täytettävä liikenneturvallisuusedellytykset katsastuksen yhteydessä. Laki edellyttää ajoneuvon toimivan valmistajan edellyttämällä tavalla. Mikäli ajoneuvo ei läpäise rekisteröinti- tai muutoskatsastusta, niin ajoneuvo on ajokiellossa. Ajoneuvoa saa käyttää liikenteessä vasta, kun sen kunto on valmistajan vaatimusten mukainen sekä tarkastettu hyväksytysti.

5.1.2 Muutos- ja rekisteröintikatsastus

Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) lakimuutoksessa (2.3.2007/233) 8 § mukaan mikä tahansa moottorikäyttöinen ajoneuvo on ensirekisteröitävä, muutosrekisteröitävä ja asianmukaisesti katsastettava. Mikäli ajoneuvoa ei asianmukaisesti ole ensirekisteröity, muutosrekisteröity tai katsastettu, sitä ei saa käyttää liikenteessä. Seitsemännessä luvussa 60 § on tarkennettu, että ajoneuvolle tulee tehdä täydellinen rekisteröintikatsastus, mikäli ajoneuvo on poistettu ennen 2.11.2007 tieliikenteestä. Mikäli muunnostyön kohteena on tällainen ajoneuvo, katsastuksen laajuus on muutoskatsastuksen lisäksi laaja rekisteröintikatsastus.

Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) lakimuutoksessa (12.12.2014/1042) luvussa 7 60 § määritetään muutoskatsastuksen edellyttämä laajuus. Ennen tieliikenteeseen käyttöönottoa muutettu ajoneuvo tulee muutoskatsastaa ja

todeta käyttötarkoituksen mukaiseksi tarkastamalla muunnokseen kuuluvat kohteet. Sähkökäyttömuunnos koskettaa aiemmin mitoitusosiossa selvitetysti ajoneuvon ajodynamiikkaa, käyttövoiman muuttamista ja näiden kiinnitysrakenteiden muuttamista. Mitoituksen tavoitteena on toteuttaa muunnostyö, joka ei muuttaisi painojakaumaa merkittävästi.

Muutuskatsastuksen yhteydessä tarkastetaan, että suunnitelma ja tehty työ vastaa valmistajan, mitoituksen ja laskennan vaatimuksia. Muutuskatsastuksen hyväksyminen edellyttää ajoneuvon olevan luokiteltavissa lainsäädännön määrittämään M₁- tai N₁-ajoneuvoluokkaan. Luokitteluun lakisääteiseen ajoneuvoluokkaan vaatii vaatimustenmukaisuuksien noudattamista. Vaatimustenmukaisuudesta on säädetty § 61 ensimmäisessä asetuksessa siten, että muutuskatsastettavan ajoneuvon tarkastamiseen riittää tietyillä osa-alueilla laskennat ja tutkimuslaitoksien oikeaksi todistetut lausunnot. Katsastustoimipaikalle jää normaalit tarkastusmuodollisuudet. Tarkastaja testaa valojen toiminnan, hallintalaitteet, jarrut, ohjaustehostimen, korin kunnan ja renkaiden urasyvyyydet. Tarkistuskohteisiin kuuluvat myös korin yksilöintinumero ja muunnoslaitteiston tyyppikilvet. Rekisteröintikatsastuksessa, kuten myös muutuskatsastuksessa tulee osoittaa todistuksin, että ajoneuvo on vaatimusten mukainen. (11.12.2002/1090.)

Katsastuksen hyväksytty tulos edellyttää, että edellä mainituissa kappaleissa mainitut kohdat ovat päteviä ja ajoneuvo on esitetynlaisessa kunnossa. Hylätty tulos voi syntyä katsastajan ja asiakkaan välillä, mikäli teknistä tietoa ja todistuksia ei ole esittää. Muutostyön jokainen askel on voitava todistaa dokumentinmuotoisesti ja esimerkiksi kiinnitysten tekemisessä kannattaa noudattaa siihen soveltuvaa valmista standardia (esim. ISO 16750-3).

5.1.3 Ajokielto

Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) luvun 7 muutoksen (3.4.2009/226) 60b pykälän perusteella ajoneuvo voidaan määrätä ajokieltoon, mikäli siinä on huomattu ja todettu jokin puute- tai vika ensirekisteröinnin, muutuskatsastuksen, määräaikaikatsastuksen tai luvun 9 muutoksen (2.3.2007/276) mukaisesti tienvarsitarkastuksen yhteydessä. Ajokielto tarkoittaa yksiselitteisesti sitä, että

ajoneuvon käyttö kielletään yleisillä ja valvotuilla teillä. Kielto johtuu ajoneuvon ominaisuuden tai rakenteellisen muutoksen epätoivotusta ilmenemismuodosta. Se voi johtua myös tyyppihyväksynnän tai vaatimustenmukaiseksi osoittamisen asiakirjapuutteista, tai valvontaviranomaisen asettamien perustelujen esittämänä ajoneuvon vaarallisuudesta.

5.2 Muunnoksen toteuttaminen

5.2.1 Rakenteen muuttaminen

Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen rakenteen muuttamisesta on säädetty ajoneuvolain liitteistössä (8.12.2014/1270) seuraavasti. Luvun 4 pykälän 18 mukaiset ajoneuvojen osakokoonpanojen osat ovat koottuna taulukossa 10. Sähkömuunnoksen tekeminen ei välttämättä edellytä jo olemassaolevan lämmityslaitteen vaihtoa. Enintään rajatapauksissa muutos voi edellyttää kojelaudan vaihtamista ja muokkaamista uusille hallintalaitteille soveltuvaksi. Rakenteen muuttaminen edellyttää aina muutuskatsastusta.

Muutettujen osien prosentit ovat < 50 % jolloin ajoneuvo ei tarvitse uutta tyyppihyväksyntää. Mikäli ajoneuvoa on muokattu jo aiemmin, niin paikalleen jätettävien komponenttien kanssa voidaan kompensoida mahdollisia rajoja. Muutosprosentin kasvaessa ≥ 50 % ajoneuvolle on haettava tyyppihyväksyntä ja uusi alustanumero. Tyyppihyväksynnän täyttämiseen vaaditaan reaaliaikaisten lainsäädönnöllisten vaatimusten mukaiset ominaisuudet, jotta konstruktio täyttää nykyisen ajoneuvoluokan päästö- ja turvallisuusvaatimukset.

TAULUKKO 10. Valtioneuvoston asetuksen (18.12.2014/1270) liitteen mukainen sovellettu esimerkkitaulukko ajoneuvojen rakenteellisista muutoksista

Muutost kohde	Muutosprosentti
Moottori	14 %

(jatkuu)

Taulukko 10. (jatkuu)

Vaihteisto ja voimansiirtoakseli	8 %
Jäähdytin	2 %
Polttoainesäiliö	2 %
Yhteensä	26 %

5.2.2 Vaatimustenmukaisuus

Vaatimustenmukaisuutta sivuttiin katsastuksen ja ajokiellon yhteydessä. Vaatimustenmukaisuus tarkoittaa Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) luvussa 10 säädetyssä muutoksessa (3.4.2009/226) vastaavuutta, eli yhteensopivuutta nykyainsäädännön kantaan ympäristö- että turvallisuusmuuttujista. Muunnosajoneuvon on täytettävä aina muutoshetkellä käytössä olevat lait ja vaatimukset muutettavien osien osalta. Ajoneuvo on kuitenkin katsastuksessa aina ensisijaisesti sidoksissa valmistuspäivämääränsä lainopillisiin vaatimuksiin. Sähkömuunnoksen tekemiseltä ei voida siis edellyttää muutoksia jarrujärjestelmässä, ajovaloissa tai vastaavissa asioissa, jos ne on hyväksytty jo rekisteröintikatsastuksen yhteydessä. Perusteena jarrujen muuttamiseen vaatimustenmukaiseksi riittää muunnoksesta johtuvan massan kasvaminen ja tämä voidaan varmistaa tarkistuslaskennalla ECE-R13-säädöksen vaatimusten mukaisesti.

5.3 Vaatimukset ajoneuvoon asennettaville osille

5.3.1 EMC-mittaukset

Muunnosta etukäteen suunnitellessa, mitoittaessa ja arvioidessa kustannuksia pitää kiinnittää huomio muunnettavan ajoneuvon vuosimalliin ja sen hetkisiin tyyppihyväksyntävaatimuksiin, eli EY-säädöksiin. Valtioneuvoston asetuksen liitteen 1 (5.4.2013/252) on esitetty ajoneuvojen järjestelmien muuttamisen

edellytykset vuosittaisessa järjestyksessä. Ajoneuvojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudelle on määritetty muutossäädös 2004/78/EY, mikä edellyttää häiriöiden ja sähkömagneettisten taajuuksien mittaamista sekä eristämistä vuodesta 2006 heinäkuun ensimmäisestä päivästä lähtien. Sähkömagneettisten häiriöiden on ensi kertaa edellytetty olevan tyyppihyväksynnän edellyttämissä rajoissa henkilöajoneuvoluokassa 1.1.1998 alkaen. Tyyppihyväksynät jotka on myönnetty ennen vuotta 1996 ovat ulkopuolella sähkömagneettisuuden mittaussvaatimuksista. Viimeistään lokakuusta 2002 eteenpäin jokaiselle ensirekisteröitävälle tai muutokatsastettavalle muunnosajoneuvolle on kuitenkin toteutettava EMC-mittaus.

5.3.2 Lämmitysjärjestelmä ja ilmastointi

Huurteenpoistojärjestelmä on oltava vuodesta 1993 eteenpäin, mutta sille ei ole asetettu erityisvaatimuksia. Lämmitysjärjestelmän vaatimuksille on määrätty 2004/104/EY direktiivi, joka edellyttää ajoneuvon lämmityslaitteen toimivan 21.6.2006 alkaen. Uuden ajoneuvon huurteenpoistojärjestelmälle on tullut 1.11.2012 tyyppihyväksyntävaatimus. Ilmastointijärjestelmä on pakollinen tyyppihyväksyttävä varuste uudelle ajoneuvolle 21.6.2008 lähtien ja ensi kertaa käyttöön otettavalle ajoneuvolle 21.6.2009. (5.4.2013/252.)

5.3.3 Muunnososien kansalliset vaatimukset

Valtioneuvoston liitteen (5.4.2013/252) mukaisesti ajoneuvolle on suoritettava suorituskykymittaus tai muutoin pystyttävä todistamaan ajoneuvon suorituskyky. Akkukäyttöiselle ajoneuvolle on esitetty valtioneuvoston esittämän toisen liitteen (18.12.2014/1291) mukaisesti E100-sääntö, joka koskettaa laitteiston tyyppihyväksynnän tulkintaa. E100-sääntö on käsitelty paremmin Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa (19.12.2002/1248). Luvun 3 kahdeksannesta pykälä käsitteellistää sähköajoneuvoksi luokiteltavan kulkuneuvon, jonka rakenteellinen nopeus on yli 25 km/h ja käyttöjännite AC/DC on vähintään 30/60 volttia.

Muutoksen tekeminen ETA-maassa edellyttää E100-säädöksen noudattamista ja kansallista tyyppihyväksyntämenettelyä. Muutokatsastukseen koskien, sähkömuunnos voidaan todeta vaatimustenmukaiseksi, mikäli muunnoksen on

asentanut pätevä sähköalan asiantuntija. Muunnoksesta edellytetään esitettävän tarkastuspöytäkirja ja Turvallisuus- ja kemikaaliviraston valtuuttaman tutkimus- tai tarkastuslaitoksen lausunto muunnoksen yleisluonteesta. E100-sääntöä käsitellään seuraavassa luvussa syvemmin.

Sähköturvallisuus tulee osoittaa EY 407/2011 vaatimusten mukaisesti toteutetuksi ja tähän riittää asiantuntijalausunto. EMC-mittauksien toteamiseksi ajoneuvo on mitattava hyväksytyssä ja puolueettomassa ETA-valtion tutkimuslaitoksessa. Mittauksista saatavasta raportista ilmenee, onko ajoneuvo riittävän eristetty sähkömagneettisilta voimilta 72/245/ETY tyyppihyväksynnän vastaavuuksien mukaisesti.

5.3.4 E100-sääntö

ECE-R100 on säädetty Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission, eli UNECEn säädöksellä 100. Säädös määrittelee sähköajoneuvojen tieliikennekelpoisuuden vaatimukset. Trafi (2018) kehottaa noudattamaan muutostyössä ja tyyppihyväksynnässä E100-sääntöä. Säädökseen viitatessani käytän alkuperäistä (L 23.8.1996/100) E100-sääntöä taustalla. Hyödynnän lakimuutokseen tai lisäykseen (Lm 12.8.2013/100) viitettä. E100-sääntöön nojautuen voidaan esittää tärkeimmät vaatimukset muunnosajoneuvon toteuttamiseksi. Ensimmäiseksi ajoneuvon varausjärjestelmän, eli akuston on oltava REESS-vaatimuksen mukainen. Akuston on vastattava vaatimustenmukaisuutta ja se voidaan testata tyyppihyväksynnän saamiseksi turvallisuuteen perustuvilla vuotokokeilla ja mittauksilla. Toiseksi muunnosjärjestelmä ja sen osakomponentit on varustettava E-merkinnöillä.

5.3.5 Ajo-ominaisuudet ja aktiivinen ajotilavalinta

Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio on säädöksessään (L 23.8.1996/100) määrännyt ajoneuvoon pakollisen aktiivisen ajotilanvalinnan. Ajoneuvoon täytyy asettaa ohjelma, jonka ollessa päällä ajoneuvo saatetaan liikkeeseen kaasupolkimen asentoa muuttamalla. Aktiiviselle ajolle on myös ohjelmoitava äänimerkki, jolloin kuljettaja tietää ajoneuvon olevan lähtövalmiudessa. Ajoneuvon on ilmoitettava, jos ajotila on D (drive) valmiudessa piippauksella kuljettajan avatessa oven. Äänimerkille on asetettu 10 sekunnin tai

oven sulkemisen poistumisikkuna. Hallintalaitteiden pitää näyttää toimintasuunta, eli automaattivaihteisen ajoneuvon voimansiirtomerkinnät. Peruuttamiseen vaaditaan kirjain R (reverse), D (drive) liikkeellelähtoon ja N/P (neutral/park) vaihtoehto vapaalle tai pysäköintiin.

5.3.6 Sähköturvallisuus

Sähköturvallisuuteen otetaan kantaa E100-säännön (23.8.1996/100) lisäyssäädöksessä (12.8.2013/100, 9) luvussa 5. Ajoneuvon sähkökomponentit ja niiden väliset johtosarjat on suojattava matkustamossa IPXXD:n mukaisesti, eli sähkökaapeleiden tai laitteiden IP4X mukaisuus, joka edellyttää kaapeleiden kiinnittämistä 1 N voimalla ajoneuvon koriin. Muilta osin muunnokseen kuluvia osia ja komponentteja ei saa pystyä esimerkiksi avaamaan tavanomaisin keinoin, vaan ne on suojattava IPXXB-luokituksen mukaisesti. Suojaus toteutetaan kiinteiden esineiden kohdalla siten, ettei vedensuojausta vaadita. Tästä huolimatta edellytetään eristystä sormien satunnaiselle koskettelulle sähköshokin välttämiseksi.

Käytettävien liittimien on oltava edellä mainittujen suojausluokkien IPXXD ja IPXXB mukaiset. Suojauksien asianmukaisuudesta huolimatta laitteisto on varustettava korkeajännitteestä varoittavalla merkillä. Merkit tulee sijoittaa siten, että ne ovat joko osassa kiinni, eristeessä tai vaihtoehtoisesti korkeajännitekaistoissa. Jos esimerkiksi korkeajännitekaistoja ei näe eikä niihin voi päästä fyysisesti käsiksi työkaluillakaan, merkkiä ei vaadita. Esimerkiksi johtojen vieminen runkoon hitsatun palkin sisällä tai kennorakenteen rungossa ovat vapaita merkinnöiltä. (12.8.2013/100, 9.)

Laitteistossa tulee olla asianmukainen ylilataussuoja ja oikosulkusuojaus. BMS-järjestelmissä on yleensä nämä asiat automaattisesti ja mukautettavissa käyttäjän tarpeisiin. Vikakoodien osalta tieto siirtyy kontrollerin kautta diagnostiikkalaitteisiin kuljettajan näkökenttään. (12.8.2013/100; Battery Management –. 2018.)

Akuston elektrolyytin vuototilanteessa tyyppihyväksytyltä akustolta odotetaan vähintään 30 minuutin aikaikkunaa, ennen kuin vuoto pääsee matkustajatilaa. Mikäli tällainen vuoto tapahtuu, yli 7 % vuoto elektrolyyttiä akuston kapasiteetista

tekee siitä liian vaarallisen. Komponenttien testaamiseksi tyyppihyväksyntää hakiessa osien ominaisuuksien tulee säilyä turvallisuusmääräysten piirissä. Esimerkiksi syttymistä tuleen, räjähdystä tai sallittua suurempaa elektrolyyttivuotoa ei hyväksytä. (12.8.2013/100, 15.)

5.3.7 Mittaukset

Tarkistusmittauksista on koottava pöytäkirja resistanssimittauksista. Silminnähtävien tai fyysisesti helposti kosketeltavien johtimien välillä on resistanssin suuruudelle määrätty 0,1 ohmin raja sekä virtamittauksessa 0,2 ampeeria. Muunnosvoimansiirron koostuessa erillisistä AC/DC-kaistoista eristäminen tulee tehdä seuraavalla tavalla. 500 Ω/V työskentelyjännite AC-kaistaan ja 100 Ω/V DC-kaistaan. Mikäli mitoitus tehdään integroiduin, eli galvonoiduin AC/DC-kaistoin yhdistämällä eristysvastuksen korkeajänniteväylän ja sähkölaitteen välillä, alustalla on oltava vähintään 500 Ω/V eristys. Eristysten on oltava myös mekaanisesti niin kestävä, etteivät ne kulu ajansaatossa puhki ja aiheuta kuolemantuottamusta. (12.8.2013/100, 11–12.)

5.4 Liiketoiminnan ja toteutuksen kannalta

5.4.1 Komponenttien maahantuontiin liittyen

Euroopan parlamentin ja neuvoston säädöksen (15.1.2013/168) toisen luvun artikkelissa 12 on esitetty sähkömuunnostuotteiden maahantuojaana täytettävät velvoitteet seuraavasti. Markkinoille saa tuoda vain vaatimustenmukaisia komponentteja, järjestelmiä tai ajoneuvoja. Niihin sovelletaan EY N:o 765/2008 mukaisia vaatimuksia (ks. 9.7.2008/765). Maahantuoja velvoitetaan kiinnittämään tyyppikilpi ajoneuvoon, sen osaan tai osakomponenttiin. Tämän lain hyvää eettistä tulkintaa noudattaa esimerkiksi Ford, jonka jokaisessa varaosassa, kuten rengaspaineventtiilissäkin on E-merkintä ja QR-koodi.

Tyyppikilven lisäksi maahantuojalla tulee olla tarvittaessa esitettävä vaatimustenmukaisuustodistus osan tai kokonaisuuteen liittyvästä toiminnasta. Mikäli osa tai kokonaisuus ei vastaa vaatimustenmukaisuutta tai käyttöönottoa sen markkinointia tai myyntiä ei sallita. Maahantuojan on myös esitettävä osan tai kokonaisuuden käyttöä koskeva asiakirja, kuten käyttöohje. Käyttöohje tulee

laatia vähintään yhdellä EU:n kansallisella kielellä, mutta toteutettava käännös, mikäli jokin EU:n jäsenvaltion niin edellyttää. Maahantuojalta edellytetään valmisteveraston sijainnin ja oman osoitteensa jakamista tarkastuskäyntejä varten. Lopuksi, mutta merkittävänä asiana edellytetään RMA-, eli reklamaatiorekisterin ylläpitoa.

Euroopan parlamentin ja neuvoston säädöksen (15.1.2013/168) kolmannessatoista artiklassa selvitetään maahantuodun tuotteen vaatimustenvastaisuuksia. Mikäli maahantuotu tuote aiheuttaa sitä käyttävälle asianomaiselle vahinkoa tai ei ole ympäristövaatimusten mukainen, se voidaan vetää takaisin myynnistä tai korjata takaisinkutsukamppanjoin. Tapauksista pitää myös ilmoittaa korkeammalle taholle sekä valmistajalle. Tässä on se idea, että tieto vaarallisesta laitteesta kulkeutuu mahdollisimman nopeasti muidenkin EU-valtioiden tietoon. Mikäli kyse on valmistajan virheestä, maahantuojana pyritään saamaan korjaus valmistajan laskuun. Mikäli kyse on maahantuojan väärinkäsityksestä tuotteen käytössä, niin oppirahat menevät omalta tililtä. Osan valmistaja on kuitenkin ensisijainen taho, jolta kannattaa kysyä ratkaisua tai korjausta.

Maahantuojan on myös arkistoitava vaatimustenmukaisuusdokumentit 10 vuoden ajalle ajoneuvon markkinoille saattamisen jälkeen ja tässä muutostyössä riittää viisi vuotta. Maakohtaisilla viranomaisilla on oikeus pyytää ja saada maahantuojalta kaikki muunnostyöstä olemassaolevat tekniset tiedot ja asiakirjat vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi kielellä, jota asianmukainen osaa vaivattomasti (15.1.2013/168). Tässä kontekstissa Suomen kieli ei riitä, mutta Englanti riittää. Viranomaisilla on erityisprioriteetti maahantuodun osan asiakaspalveluun, sillä yhteiskunnan tarkoituksena on ylläpitää turvallista ympäristöä tarkastamalla yritysten toimintaa.

Euroopan parlamentin ja neuvoston säätämässä (15.1.2013/168) artiklassa 14 esitetään jakelijan velvoitteet, mikä koskee liiketoimintaa siinä tapauksessa, jos osia tai kokoonpanoja myytäisiin ulkomyyntinä. Ulkomyyntiä koskevat asetukset on määritelty tarkasti ja sitä koskee samat velvoitteet kuin se palveluna olisi asennettu. Myyjänä on varmistuttava ja oltava perillä omasta vastuustaan esimerkiksi kuljetustilanteessa ja noudatettava kuluttajalain mukaista hyvää

eettisesti kestävää kaupankäyntiä. Osissa tai kokoonpanoissa tulee olla tyyppihyväksyntämerkit, asiakkaalle tulee luovuttaa laitteisiin liittyvät dokumentit ja vaatimustenmukaisuustodistuksien jäljennökset asiakkaan vaatimalla kielellä.

Euroopan parlamentin ja neuvoston säätämässä (15.1.2013/168) 15 artiklassa korostetaan tuotteita, jotka eivät ole vaatimustenmukaisia tai aiheuttavat vakavan riskin. Tällaiset tapaukset vaativat välitöntä toimintaa, joko takaisinkutsun, korjaamisen tai takaisinvedon myynnistä. Tiedotus on tehtävä siten, että tyyppihyväksynnän myöntänyt viranomainen sekä valmistaja saa tästä tiedon. Korjauksiin ryhtyessä pidetään voimakkaasti yhteyttä sidosryhmiin vaatimustenmukaisuuden ja luottamuksen uudelleenrakentamiseksi.

5.4.2 Estolaitteiden käytön kieltö

Estolaitteiden käyttöön liittyvää aineistoa on esitetty artiklassa 19. Euroopan parlamentin ja neuvoston säätämän lain (15.1.2013/168) mukaan on kiellettyä käyttää esimerkiksi EMC-mittauksissa sähkömagneettista säteilyä vähentävää laitteistoa, mikäli laitteisto ei ole periaatteellisella tasolla laillinen tai se ei ole jatkuvassa käytössä. Laitetta ei pidetä estolaitteena, jos laite ei toimi muutoin kuin moottorin käynnistämiseksi, tai laite on perusteltu moottorin suojaamiseksi vaurioitumiselta ja ajoneuvon turvallisen toiminnan varmistamiseksi. Lisäksi käyttö- ja ympäristöolosuhteilla on merkitystä testausmenetelmien käyttöön, jolloin esimerkiksi poutasäällä ei saada täyttä varmuutta sadekestävyydestä tai täydellistä käsitystä pakkastoimivuudesta.

5.4.3 Homogenisointi ja luokittelu

Euroopan parlamentin ja neuvoston säätämän lain (15.1.2013/168) mukaan artiklassa 31 esitetään järjestelmille, komponenteille ja osille erityiset säännökset. Viranomaisen on myönnettävä EU-tyyppihyväksyntä, jos se on valmistusasiakirjojen mukainen ja täyttää (15.1.2013/168) liitteen 2 mukaiset vaatimukset. Yksikön on täytettävä sille asetetut tekniset vaatimukset ja toimittava käytännössä. Monen erillisen osan toisinsa yhteensopivuus on otettava huomioon vaatimustenmukaisuuksissa, sillä sama osa ei välttämättä toimi jonkin toisen muun osan kontekstissa. Tässä kohtaa pitää tietää, voiko sähkökäyttömuutokseen liittyviä komponentteja käyttää väärin ja miten ne kohdat

olisivat ehkäistävissä liiketoiminnan säilyttämiseksi. Yrittäjä ei voi vastata, jos esimerkiksi ajoneuvon akustosta tehdään pommi, tai moottoria käytetään paperikoneen pyörittämiseen, sillä tällaisten ääri-ilmiöiden takia täytyy kehittää vastuuvapauslauseke ja irtisanoa vastuunsa tappion välttämiseksi.

EU-tyyppihyväksynnässä vaaditut testit korostuvat säädöksen (15.1.2013/168) artiklassa 32. Tässä vaatimusten noudattaminen on osoitettava asianmukaisesti edelleen tutkimusten ja mittausten perusteella Euroopan parlamentin ja komission liitteen 2 mukaisesti. Testautetaan hyväksyntähakemuksen mukainen laitteisto- tai osa ja vastineena saadaan tulokset, joiden perusteella haetaan tyyppihyväksyntää. Koska liiketoiminnan aiheena ei ole tarkoitus valmistaa tuotteita itse, artiklan 33 nojalla tuotannon vaatimustenmukaisuutta koskevat järjestelyt eivät liity opinnäytetyön asiansyhteyteen.

Tavoitteena on saavuttaa toistaiseksi voimassa oleva, luvun 7 artiklan 37 mukainen EU-tyyppihyväksynnän voimassaolo. 8 luvussa esitetään artiklassa 38 vaatimustenmukaisuustodistuksen välttämätön toimittaminen jokaisen myydyn kokoonpanon yhteydessä ja siinä määrätään kääntämään todistus pyynnin mukaisille kielille, kuitenkin vähintään yhdelle Euroopan unionin viralliselle kielelle. Artiklassa 39 sähkökäyttömuutoksen laatijaa veloitetaan merkitsemään yhteen muutetun kokoonpanon osa EU-tyyppihyväksyntämerkki. Mikäli osat valmistettaisiin itse tai alihankintana, niin jokainen osa tulisi identifioida tyyppikilvellä. (15.1.2013/168.)

5.4.4 Poikkeustapauksessa rekisteröinti

Tutkimuksen kannalta tavoitteellisessa tilanteessa, eli poikkeustapauksessa rekisteröinti lyhentäisi tyypittämiseen käytettävän ja vaaditun ajan kestoja. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (15.1.2013/168) yhdeksännessä luvussa 40 artiklassa esitetään, että EU-tyyppihyväksyntää voisi hakea rinnastamalla Yhdysvaltojen standardien mukaista tekniikkaa EU-standardeihin. Tällä tavoin voidaan välttää standardien mukaisten osien uudelleen tyypittäminen ja rinnastaa ne jo olemassa oleviin EU:n malleihin. Hakemuksessa täytyy esittää perustelut sille, miksi kyseiset tekniikat tai ratkaisut tekevät tuotteesta vertailukelpoisen EU:n säädöksiin. Hakemukseen tulee myös kuvata

tuontitekniikan turvallisuus- ja ympäristövaikutukset, sekä mainita myös osien kierrätettävyyssasiat.

Komissio voi luvanvaraistaa liiketoiminnan näiltä osin vähintään 36 kuukauden ajaksi tai katsoessaan riittävän merkittäviä perusteluja päättää toistaiseksi voimassa olevaan lupaan. Mikäli toimintaa harjoitettaisiin siten, että ajoneuvon kori ja muut osat valmistettaisiin alihankintana ja tehtäisiin sähköajoneuvoja piensarjana, toimintaa tulisi tarkastella lukujen 10 - 11 artiklojen 42 - 44 silmälasien takaa, johon tässä ei mennä sen syvemmälle. Muutetun ajoneuvon voi rekisteröidä, mikäli se täyttää artiklan 45 mukaiset vaatimukset. Tähän kuuluvat siis artiklassa 39 esille tullut tyyppihyväksyntämerkin kiinnittäminen ja poikkeustilanteessa muutosrekisteröiminen edellyttää artiklan 38 vaatimustenmukaisuuden toteutusta todistuksella ja katsastustarkastusta sähköjärjestelmien toimivuudesta. (15.1.2013/168.)

5.4.5 Protojen valmistaminen ja tutkimuslaitostoiminta

Ajoneuvojen muuttaminen sähkökäyttöisiksi edellyttää markkinatutkimusta ja tutkimuksen perusteella tehtävien prototyyppien testaamista. Protojen käytännön kokemusten ja mittausten perusteella voidaan ennustaa tulevaisuutta paljon paremmin kuin yhtäkkisellä markkinoille vyörimisenä satunnaisella tekniikalla, joka on sidottu korkeakoulussa itseopittuun teorian tietoon. Tekniikka täytyy testata, oli kyse sitten mistä tahansa moottorista tai akusta.

Makrotasolla tutkimistoiminnan voi toteuttaa asetuksen (15.1.2013/168) artiklaa 61 soveltaen normaalisti yrityksen nimissä vieraalla tai omalla pääomalla. Tutkimista voi myös harkita tutkimuslaitoksen oikeuksiin oikeuttavan riippumattomuuden nimissä, jolloin oikeuksia hakevalla taholla ei saa olla kytköksiä esimerkiksi sähköajoneuvomuutoksien tekemiseen. Laissa ei kielletä, tutkimuslaitoksen perustamista, tuotteiden testaamista, tutkimisen lopettamista ja liiketoiminnan aloittamista aiemman tutkimuksen kohteen kentällä. Tämä menetelmä vaikuttaa kuitenkin hyvin ekstensiiviseltä menetelmältä, joka vaatii esimerkiksi määrittelemättömän määrän henkilöstöä ja riittävät tutkimukset taustalle. Mikrotasolla, eli ihan yksityisyrittämisen alkuvaiheessa testaamiseen voi ryhtyä kuka vain riittävän varallisuuden avulla.

5.4.6 Koenumerokilvet ja siirtolupa

Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) luvun 8 muutoksen (20.5.2010/421) pykälän 32 mukaan ajoneuvon väliaikainen käyttö liikenteessä on mahdollista. Siirtokilvet pitää hakea erikseen liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta. Siirtokilpien saamisen myötä ajoneuvoa voi käyttää liikenteessä, mikäli liikennevakuutus on voimassa. Trafi myöntää myös koenumerokilpien luvat aina vuodeksi eteenpäin. Koenumerokilvin ajaminen on liikenteessä perusteltua mikäli ajoneuvoa testataan, kokeillaan, varustetaan, esitellään, myydään tai ajetaan katsastukseen. Koenumerokilpiä ei saa käyttää mikäli koenumerokilven käytölle ei ole saatu puoltavaa päätöstä, tai jos ajoneuvo on liikennekäytöstä poistettu. Koekilvin käytettävää ajoneuvoa koskee samat lait ja vastuut kuin tavallistakin ajoneuvoa.

Koenumerokilpien hakeminen on liiketoimintaa tukeva valinta, sillä sähköajoneuvomuunnoksien tekeminen edellyttää testaamista ja koeajoja. Sähköajoneuvojen muutossarjoja mitoittava ja asentava yritys täyttää ajoneuvojen muuttamisen tai varustamisen kriteerit ja voi näin hakea koenumerokilpien käyttöoikeutta. Polttomoottoriajoneuvojen muuttamisessa ja erityisesti liiketoiminnassa on olennaista ajo-oikeuden säilyttäminen rakenteellisen muutoksen jälkeenkin. Lainsäädännön edellytyksin ajoneuvomuutos ei välttämättä vaadi yhtä ja kiinteää muutoksen valmistuspaikkaa, eikä siirtymiä tarvitse tehdä siirtokilvin tai muutoin töisevästi.

5.4.7 Markkinavalvonta ja varaosa-asiat

5.4.7.1 Suomen lainsäädännössä

Markkinavalvonnasta on määrätty ajoneuvolain (11.12.2002/1090) luvussa 10 muutetussa (3.4.2009/226) pykälässä 79 seuraavasti. Ajoneuvon, osan tai erillisen teknisen yksikön markkinavalvonta on toteutettu siten, että tuli vastaa maahan tuotavista hyödykkeistä ja liikenteen turvallisuusvirasto valvoo ensiksi mainittujen valmistusta ja kauppaa. 80 § vastaa 86 §:n tavoin ajoneuvon teknisen yksikön, osan tai järjestelmän mahdollisista vaaroista aiheuttavista tekijöistä liikenne- tai työturvallisuudelle siten, että tyyppihyväksyntä voidaan evätä tarvittaessa tyyppihyväksytyiltäkin laitteelta. Mikäli sähkökäyttömuutoksesta

koituu haittaa ja vaaraa asiakkaille tai ulkopuolisille osapuolille, liiketoiminta ei tule jatkumaan pitkään. Laadun varmistamiseksi mitoitusratkaisuille annetaan vähintään 5 vuoden takuu ja myyjäliikkeenä kannamme virhevastuun

Markkinavalvonnan toteuttamisesta määrätään (L 11.12.2002/1090) § 82 (3.4.2009/226) siten, että poliisilla tai valvontaviranomaisella on oltava pääsy liiketoimintaa harjoittavan yrityksen tiloihin, joissa tapahtuu teknisten yksiköiden maahantuontia, varastointia, valmistusta ja kauppaa. Viranomaisen voi ottaa haltuunsa näytteen epäilyksen alaisesta kohteesta ja tutkia se. Mikäli laite tai menetelmä vastaa tyyppihyväksynnän mukaista oikeaa toimintatapaa, valvontaviranomainen korvaa tarkastuksesta aiheutuneet kulut. Mikäli esimerkiksi varastosta löytyy asiakkaalle mitoitettu osakokoonpano jossa on käytetty tyyppihyväksymättömiä osia, viranomaisen ei korvaa vaan laittaa toiminnalle pisteen.

5.4.7.2 Euroopan lainsäädännössä

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (15.1.2013/168) luvussa 12 ja 46 artiklassa on esitetty, että markkinavalvoja tutkii tässä tapauksessa käyttövoimamuutetun ajoneuvon suoriutumista myös huomattavan pitkään tyypittämisen tai poikkeuksellisen rekisteröinnin jälkimainingeissa, kuten myös Suomen ajoneuvolainsäädäntö (11.12.2002/1090) niin velvoittaa. Liiketoiminnan tekemisen kannalta olisi siis tehtävä omia prototyypppejä ja mitattava NCAP-testit turvallisuuden tarkastamiseksi muutoksen jälkeen. Mikäli muutetun ajoneuvon laitteisto ei olekaan hyväksynnän mukainen, artikloissa 49 - 50 esitetään viranomaisen mahdollistavan sen korjaamisen oikaistakseen hyväksynnän tai muodostaakseen uuden tyypittelyn.

Vaatimustenvastaisuus on tutkittava tarkkaan jo ennen myyntiä. Asetuksen (15.1.2013/168) nojalla tilanteessa, jossa kyseessä olisi kokonaisen sähköajoneuvon valmistaminen, valmistaja veloitetaan takaisinkutsun järjestämiseen ja hyväksyttävien korjaustoimien esittämiseen artiklan 52 mukaisesti. 55 artiklassa veloitetaan muutoksen tekijää valveuttamaan asiakasta ainoastaan tyypittämisen mukaisella tiedolla ja tähän kuuluu turvallisuuden ääritapauksessa riittävän käyttökoulutuksen varmistaminen.

Vähimmäisvaatimus on ohjeistuksen, kuten ohjekirjan tai vastaavan tuen läpikäyminen ja dokumentin luovuttaminen ajoneuvon oikeaoppisen käytön varmistamiseksi. Varaosien saatavuutta ei ole pakollista turvata, mikäli ajoneuvoon tuotetaan käyttövoimamuutos. Myöskään piensarjaluvalla toteutettujen ajoneuvojen varaosasaatavuutta ei ole pakko toteuttaa. Luonnollisesti tämä tarkoittaa pientuotantojen ja protojen hallituksellista tukea uuden tekniikan adaptoimiseksi vähemmällä pakotteilla. Mikäli valmistettaisiin sähköajoneuvoja massatuotantona, luvun 15 artikla 57 velvoittaisi ylläpitämään varaosavarastoa. (15.1.2013/168.)

5.4.8 Takaisinkutsu ja virhevastuu

Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) 86 § (23.4.2010/276) mukaan ajoneuvon käyttövoiman muuttokomponenteille on huomioitava takaisinkutsun mahdollisuus. Mikäli EY- tai EU-tyyppihyväksytystä sähkömuunnoksesta löytyy myöhemmin jokin rakenteellinen, mitoitusta koskeva tai jokin osakokoonpanoa koskeva vika, ajoneuvolaki velvoittaa vastuunalaisena olleen osapuolen huolehtimaan virheen tai poikkeaman korjauksesta kaikista Suomessa käytössä olevista ajoneuvoista. Vastuunalaisen tulee ilmoittaa Liikenteen turvallisuusvirastolle, kun takaisinkutsukampanja on suoritettu ja kaikki ajoneuvot korjattu. 86 lakipykälää on tarkennettu asetuksella (3.4.2009/226), jossa vaarallisen EY-tyyppihyväksytyn ajoneuvon valmistajan on vedettävä pois markkinoilta kaikki liikkeelle lähteneet sekä mahdollisen myyntivaraston osakokoonpanot. Vaihtoehtona on myös korjata vaaraa aiheuttava vika viranomaiselle ehdotetuin ja perustelluin toimenpitein.

5.4.9 Tyyppihyväksyntä ja vastuu

Tyyppihyväksyntävelvollisuus on määrätty ajoneuvolain (11.12.2002/1090) päivityksessä (30.12.2015/1609) § 32 tieliikennekäyttöisille ajoneuvoille, jotka on mainittu § 10. Mikäli liiketoiminnassa myydään eteenpäin sähkömuunnoksia, lakia voidaan soveltaa siten, että myös valmiiden muutossarjojen on yllettävä Euroopan unionin säädöksen mukaiselle tasolle. Laadun varmistamiseksi maahantuotavat osakokoonpanot on siis testattava valtuutetuissa testilaboratoriossa tai pyydettyä osia valmistavan tahon EY-tyyppihyväksyntää

vastaava dokumentti. § 36 esitetään tyyppihyväksyntäviranomaisen hyväksymän dokumentin olevan nimetyn tutkimuslaitoksen tekemä. Hyväksytty dokumentti sisältää osakokoonpanon tai yksittäisen osan tarkastamisen, mittaamisen, testaamisen sekä laskentaosan.

Tyyppihyväksyntä voidaan myös osoittaa 48 pykälän perusteella hyväksyntään tarkoitetun asiantuntijan lausunnolla. Toimimalla edellä mainitun mukaisesti vastataan liiketoiminnan noudattavan kansallisen tyyppihyväksynnän eettisiä vaatimuksia ja toimitaan lain edellyttämällä tavalla. Tyyppihyväksyntäviranomainen arvioi 35 § perusteella tyyppihyväksynnän puoltamisesta tai hylkäämisestä. Puoltaminen sekä epääminen vaativat viranomaisen perustelut. Viranomainen ylläpitää tyyppihyväksyntärekisteriä § 39, johon kerätään tyyppihyväksyntää edellyttävät tiedot, mittaukset ja dokumentit. (11.12.2002/1090.) Uusia tyyppihyväksyntiä voi hakea ja tyyppihyväksyntäviranomainen parhaaksi katsoessaan niitä myöntää.

5.4.10 Tuotteen vetäminen pois markkinoilta

Mikäli ajoneuvoon mitoitettu ja asennettu järjestelmä ei vastaa ajoneuvolain (11.12.2002/1090) määrittämän tyyppihyväksyntäviranomaisen § 86 asetuksen mukaista mitoitusta, se on vedettävä pois markkinoilta. Sähkömuunnos voidaan myös muulla tavoin osoittaa kelvottomaksi, kuten jo esille tulleella pistotarkastuksella tuotantotiloihin tai lisäksi tienvarsivalvonnassa ilmi käyneessä Poliisin havainnoimassa liikennettä- tai ympäristöä vaarantavassa toiminnassa tekemässä pykälän § 73 mukaisessa raportissa. Tyyppihyväksynnän peruuttaminen kirjataan ETA-valtioiden tyyppihyväksyntäviranomaisten ylläpitämään rekisteriin. Tyyppihyväksynnän saaminen edellyttää valmistajalta viranomaisen perustelujen mukaista tuotteen kehittämistä tai mitoituksen muuttamista.

5.4.11 Muutos- tai rekisteröintikatsastus

Menestyneen ajoneuvon rakenteellisen muutoksen ja hyväksytyn tyyppihyväksynnän tai yksittäishyväksynnän jälkeen toimintaa seuraa rekisteröintikatsastus. Käytännössä jos rekisteröintikatsastus on voimassa ja ajoneuvoon toteutetaan käyttövoimamuutos, tehdään vain muutoskatsastus.

Muutuskatsastuksen voi tehdä Ajoneuvolain (11.12.2002/1090) mukaan rekisteröintikatsastuksen yhteydessä tai rakenteellisen muutoksen niin velvoittaessa. § 60 rekisteröintikatsastus kattaa ajoneuvon rekisteriin merkittyjen tietojen lainopillisen tarkastuksen viranomaistyönä eli katsastustoimipaikalla katsastajan perehtymistä ajoneuvosta saataviin vaatimustenmukaisuus dokumentteihin, tyyppihyväksyntämerkintöihin ja rakenteellisiin muutoksiin. Lakipykälää on tarkennettu asetuksilla, joissa on määritetty, milloin rakenteellisen muutoksen tarkastaminen on katsastustoimipaikan vastuulla ja milloin asianomaisen vastuulla. Kun kyse on sähkökäytön muutoksesta, vaaditaan katsastustoimipaikalta tyyppihyväksynnän tai valmistajan vastaavuustodistuksen mukaista osoittamistapaa, jolla ajoneuvo täyttää sille asetetut § 50c ympäristö- ja liikenneturvallisuusominaisuudet.

5.4.12 Muutoksen lainvoimaisuus

Muutostyön jälkeen suoritetaan muutuskatsastus. Tehdään osalista vaihdetuista osista Trafin (2017) osaluetteloon C115. Vaihdetut osat eivät vastaa alkuperäistä konstruktiota, jolloin ajoneuvon akselimassat punnitaan katsastuksen yhteydessä ja verrataan valmistajan ilmoittamiin arvoihin. Muutostyö on tehty tietysti siten, etteivät massat muutu merkittävästi. Mitoitus oikein tehtynä vastaa tarkasti alkuperäisiä akselimassoja, jolloin kantavuus ei muutu. Mikäli massat muuttuvat merkittävästi, sähkömuunnos voi johtaa takapenkkien poistamiseen riittämättömän kantavuuden johdosta. Rekisteritietoihin tehdään merkintä muutuskatsastuksen yhteydessä mitatuista massoista, mikäli ne poikkeavat merkittävästi alkuperäisistä mitoista.

6 MITOITUKSEN YHTEENVETO

6.1 Esimerkkimitoitus

Taulukossa 11 on esitetty yksi mahdollinen osalista sähkömuunnoksen tekemisestä kustannuksineen ja arvioituine massoineen. Esimerkin mukaisesti kokonaiskustannuksiksi tulisi 37 549,5 \$, eli noin 30 681,5 € (22.01.2018, kello 13:00 kurssilla). Tähän lisätään tuontikustannukset, eli 5 - 10 % tulli ja 24 % arvonlisävero. Näiden kulujen lisäksi jotkin osat saattavat vaatia tyyppihyväksynnän hakemista, josta syntyy viranomaiskuluja. Muutoskatsastuksen kulut tulevat ilmi katsastusaseman hinnastosta ja tuntiveloitus lienee myös ihan asiaankuuluvaa. Myös Trafilta haettavat testikilvet tai siirtoluvat maksavat rahaa. Loppujen lopuksi muutostyöstä pitäisi päästä leivälle, joten työkustannukset ovat vähintään 15 - 25 % työn kokonaisarvosta, mikä nostaa hintoja huomattavasti. Hinta veroineen (10 431 €) että töineen (4 602 €) olisi yhteensä noin 45 715 €. Tämä esimerkki on kuitenkin vain yksi mahdollinen tapa toteuttaa muunnostyö ja käytännön elämässä muutostyöt ovat täysin uniikkeja.

TAULUKKO 11. esimerkki osalista muunnoksen vaatimista osista

Osa	Malli	m (kg)	H (\$)
Moottori	AC-35x2	88,45	9327
Kontrolleri	PM150DX	10,7	7800
Akusto	Model S (10kpl)	250	14495,5
Lataus	Clipper Creek (2kpl)	N/A	1776

(jatkuu)

TAULUKKO 11. (jatkuu)

Ilmastointi	Taulukon 7 mukainen	~20	2607
Muunnin	Taulukon 8 1 vaihtoehto	2,3	229
Matkustamon lämmitys	Taulukon 8 2 vaihtoehto	N/A	126
Alipainepumppu	Taulukon 8 3 vaihtoehto	3,2	189
Pientarvikkeet	Letkut, sovitteet yms.	N/A	1000
Yhteensä	N/A	~400	37549,5

Liiketoiminnan synnyttäminen on erittäin epärealistista ilman järkevää syytä tai perustavanlaatuisen markkinatutkimuksen tekemistä. On erittäin todennäköistä, ettei asiakas maksa ajoneuvon sähkömuunnoksesta ainakaan enempää kuin uusi sähköajoneuvo maksaisi. Esimerkiksi uusi 100 kW:n e-Golf maksaa ajoneuvoveroineen noin 42 551 euroa (Täyssähköauto –. 2018).

6.2 Moottorit ja komponentit

AC-moottorit ovat 4 pääluvun taulukon 1 mukaan halvempia, kuin DC-moottorit. Toisaalta AC-moottorien kontrollerit ovat kalliimpia, kuin DC-moottoreiden. Tässä tutkimuksessa lasketut kustannukset ovat suuntaa-antavia, eikä tässä mennä sen syvemmin liiketoimintasuunnitelman suunnitteluun lainkaan. Ei ole mitään järkeä antaa yleiseen jakoon mahdollisen liiketoiminnan avaimia, kun kyseessä on vain puhdasta vääristävien numeroiden rakentelua. Jokainen lukija voi muodostaa oman käsityksensä taulukoissa esitetyistä kuluista ja etsiä

mieleisensä myyntivälittäjän. Joka tapauksessa edellä mainituin laadullisin menetelmin kerätyt tiedot ja taulukot ovat tutkimusaiheen ytimessä ja kuuluvat sähkömuunnokseen käsitteellisellä tasolla esitettyinä esimerkkeinä.

Mikäli moottorivalmistajat ja muiden komponenttien osat hankittaisiin paikallisilta yrityksiltä, voitaisiin samalla delegoida vaatimustenmukaisuuksien tekeminen toiselle osapuolelle. Visiona tämä on kuitenkin liian helppo tutkimuksen tekemisen kannalta, joten siksi näkemykset eroavat kotimaisen tekniikan tuntemuksen ja liiketoiminnan tutkimisen kannalta.

6.3 Suojaukset ja standardit

IP-suojauksen ja standardien täyttäminen vaatii riittävää validoinnin hankskaamista, ettei muutosprosessissa tule yllätyksiä myöhemmässä vaiheessa. Suomessa sähkömoottoreiden tarjonta on yleisesti hyvä ja yleensä mitoituskysymys. Moottoreita ei ole kuitenkaan Yhdysvaltalaiseen malliin ole lainkaan tuotteistettu verkkosivuilla, mikä viestii markkinoiden kypsyttämättömyydestä. Akkuteknologian toistaiseksi kalliit kilowattitunnit siirtävät liiketoiminnan synnyttämisen katsetta tulevaisuuteen ja herättää mielenkiinnon testata sähkömuunnoksen käytännön toimivuutta prototyypin tehtävin kokeiluvin.

Standardoidut latausliittimet mahdollistavat esimerkiksi Kiinasta tuotavien osakomponenttien yksinkertaisen tyyppihyväksynnän, kunhan laitteet mitataan ja testataan Euroopan komission valtuuttamassa tutkimuslaitoksessa hyväksyttävästi. Samalla tavalla menetellään myös Yhdysvalloista tuotavien komponenttien kanssa. Myyjäliikkeet saattavat tarjota tällä vuosikymmenellä jo valmiiksi tyyppitettyjä ja testattuja vaatimustenmukaisia tuotteita, joten yrityksen liiketoiminnan kohteeksi jää lopulta vain töisevä mitoitus ja muutostyö.

7 POHDINTA

7.1 Jarru- ja ajotilatutkimus

Mitoitukset ovat laskennallisesti onnistuneita esimerkkejä ajotilatutkimuksen perusteella valittavasta sähkömoottorista. Mitoituksessa voitaisiin huomioida ajoneuvon alkuperäisen vaihteiston merkitys eri välityksin ja valita optimaalisin. Perinteisen tai CVT-automaattivaihteiston hyödyntäminen sähkömoottoripropulsion kanssa vaikuttaa seuraavalta tutkimuskohteelta.

Tässä tutkimuksessa huomattiin, että moottorin kierrosnopeudet jäävät todella alhaisiksi verrattuna jatkuvan kierrosnopeuden optimiarvoon. Vaihteistolla varustettuun kohdeajoneuvoon olisi mahdollista mitoittaa pienempikin moottori. Alentavilla välityksillä saavutettaisiin parempia vääntömomentintuotto-ominaisuuksia. Liian alhaisenkaan kierrosnopeuden ei kuitenkaan pitäisi aiheuttaa sähköpropulsioon polttomoottorille ominaisia hydrodynaamisesti voideltujen runkolaakereiden laakerirasituksia ja kulumisia. Sähkömoottoriin lienee mitoitettu riittävän kestävät rullalaakerit, jotka voi tarvittaessa tarkastaa välittäjältä saaduin tiedoin yksinkertaisella laskennalla ennen laitteen hankkimista.

Mitoitus tähtäsi Suomen maantienopeuksille, joten sitä ei välttämättä kannata käyttää esimerkiksi Saksan moottoriteillä siitä syystä, ettei sen rakenteellinen huippunopeus riitä. Tässä pitää kuitenkin muistaa se, että ilmanvastusvoima on laskettu isolla varmuuskertoimella ja vierintävastus on vähintään riittävä kuvaamaan asfalttitien ja renkaan välistä vastusta. Lisäksi mitoituksessa käytetään epärealistista 30 % mäennousukykyä varmistamaan sen käytännön riittävyys.

7.2 Lainsäädännöstä

Ajoneuvon muutoskatsastaminen sähkömuutokselle tapahtuu kutakuinkin seuraavanlaisessa järjestyksessä. Ensimmäiseksi tarkistetaan todistukset. Toiseksi tarkastetaan tyyppikilven kiinnitys ja sijainti sekä määrä. Kolmanneksi punnitaan ajoneuvon akselimassat. Neljänneksi testataan sähkölaitteiden

toimivuus ja viimeisimpänä todetaan ajoneuvo muutokatsastuskelpoisuuden mukaiseksi. Tarkastettaviin todistuksiin kuuluvat vaatimustenmukaisuustodistukset, selvitys ajoneuvon tehosta tai tehodynamometrimittaus- ja lausunto sähkömagneettisesta säteilystä vuosimallista riippuen. Punnituksen perusteella voidaan joutua tasapainottamaan ajoneuvon etu- ja takapäänmassat alkuperäistä vastaaviksi. Mikäli massat eroavat huomattavasti, täytyy muuttaa otteen kantavuuslukemaa. Liiallisissa ylityksissä päästään mitoittamaan ja asentamaan uusia jarrujärjestelmiä.

Tarkastettaviin laitteisiin kuuluvat kaikki alkuperäiset hallintalaitteet, jotka laki velvoittaa käyttöön. Velvoitteisiin kuuluvat yleisesti valojen, pyyhkimien, turvajärjestelmien, ikkunoiden ja mittariston toiminnan tarkastus. Toiminnan laajuus määrää, vaaditaanko ajoneuvon katsastamiseksi tyyppihyväksyntä, vai riittääkö poikkeusluvan hakeminen yksittäisen tai useamman ajoneuvon kohdalla. Muutoksen lainsäädännöllisissä asioissa kannattaa aina katsoa ajantasaisin lainsäädäntö Eur-Lexistä tai Fin-Lexistä, sillä se säästää katsastustoimipaikoilla asioinnilta paljon aikaa.

7.3 Metodologiasta lyhyesti

Työ on toteutettu menetelmiltään tutkimussuunnitelman kaltaisesti työskentelemällä tiukasti lähdeaineiston parissa. Oikeaa lähestymistapaa tällaisen tutkimuksen tekemiseen ei ole, vaan oma lähestymistapani hioutui tutkimuksen loppua kohden. Työssä on käytetty sekä teoreettista että empiiristä lähestymistapaa, joita painotan vuoron perään ongelman tai ilmiön näkökulmasta. Tutkimushypoteesin väitteiden ohjaamana mitoituksen laskelmien tekemisen jälkeen seuraisi käytännön osa, joka täytyy toteuttaa kustannuksiltaan järkevästi. Tutkimuksessa on noin 80 % teorian esittämistä ja soveltamista sekä 20 % aineiston analyysiä.

7.4 Tutkimuksen luotettavuudesta

Lähdeaineistona on käytetty toisiinsa nähden irrallisista asianyhteyksistä peräisin olevia tietoja. Osa lähteistä on kaupallisia ja kirjoitettu myyntiä edistävästi sekä ovat näkökulmiltaan turhan puolueellisia ja kaunistelevia. Lähdeteosten pohjalta

saatu tieto on vähintään kattavaa ja kuvaa hyvin tämän hetkistä matemaattisesti rajoittunutta käsitystä ajoneuvon teoreettisesta ajodynaamiikasta. Eri asiansyhteyksistä poimitut tiedot luovat uutta ja perusteltua teoriaa, mutta suhtaudun kriittisesti erityisesti internetin lähteisiin.

Julkisesti jaossa olevat erilaisten ihmisten tekemät tieteelliset tutkimukset, ohjeistukset ja kirjallisuudet sisältävät lähes aina inhimillistä virhettä. Monia arvoja on suodatettu miellyttävän näköiseksi, eivätkä ne ole täysin realistisia. Ulkopuolisena lukijana suhtautuisin varauksella opinnäytetyön sisältöön, sillä lainsäädäntö muuttuu jokainen vuosi ja työn kontekstiin liittyvät asiat kehittyvät jatkuvasti.

7.5 Päätelmiä

Ostosähkön päästökerroin viiden vuoden keskiarvona on noin 200 g/kWh ja sähköajoneuvojen verotusperusteet ovat minimaalisen pienet (Suomi 2017; Ostosähkön päästökerroin –. 2017). Tässä voidaankin miettiä, miksi ajoneuvoverotuksessa sähköajoneuvot luokitellaan nollapäästöisiksi. Todellisuudessa jokaista kulutettua kilowattituntia kohden pääsee noin 200 grammaa hiilidioksidia ilmakehään. Todellisuus on toistaiseksi vielä sitä, että sähköverkosta ladattavat akkukäyttöiset ajoneuvot saastuttavat paljon enemmän kuin ajatellaan. Induktiivisesti, eli yleistäen pääteltynä kyseessä voisi olla poliittisen ja yhteiskunnallisen tason ajattelua kestävässä sähköajoneuvoteknologian saavuttamiseksi alentamalla kynnystä sähköajoneuvon hankinnan tai muunnoksen tekemisen osalta.

Yhteiskunta tukee sähköajoneuvojen kehittymisen pitkäkestoista alkuvaihetta, ja se lienee ainoa tapa saada yksityiset resurssit käyttöön tarvittavan teknologian kehittämiseksi, jolloin myös niiden hankkiminen on tavallaan tehty kannattavaksi. Sähkömuunnoksen tekemiseen pätee samanlainen taka-ajatus, sillä näin yritykset saavat laitteita myytyä sekä kasvatettua omaa kassavirtaansa. Ajattelumallin ehtoina on, että teknologian kehitys voidaan olettaa hyvin pitkälti talousvetoiseksi, jolloin kassavirtaa voidaan ohjata poliittisten ja lakisääteisten vaatimusten mukaiseen suuntaan.

7.6 Lisätutkimuksia

Lisätutkimuksia aiheesta olisi tarpeen tehdä sähköajoneuvon toiminnan simuloinnista (ks. McDonald & Marie 2012) ja käyttöenergian tutkimisesta erilaisilla kuormilla, virroilla sekä eri olosuhteissa (ks. Moawad & Rousseau 2012). Markkinatutkimus on yleisesti ottaen pelkkää mainostusta ja futuristista kaupallisuuden lisäämistä, joten se kaipaa lisätutkimusta paikallisesti kuin myös maailmanlaajuisesti (ks. Saksassa MacDougall 2016). Protonivaihtokennosto ja superkondensaatori voivat olla tulevaisuudessa akkuteknologian korvaava vaihtoehtoinen menetelmä energian varastointiin. Ajoneuvojen sähkökäyttöisyydestä ja muista vaihtoehtoisista menetelmistä voisi tehdä laajempaa tieteellisteknillistä poikkitieteellistä tutkimusta ja tuottaa laaja-alainen käsitys ammattiaineiden korkeakouluopetuksen yhteydessä.

7.7 Lopuksi

Tarkasteltavana alueena ja liiketoiminnan sijaintina Suomi on tunnettu vanhasta ajoneuvokannasta ja hyvin nuukailevasta asenteesta uuteen ja kustannuksiltaan korkean teknologian hankintaan. Sähköajoneuvomuunnosten tekeminen tämän tutkimuksen tiedoilla ei tule onnistumaan lähivuosina, vaikka voidaankin ajatella ajoneuvoteollisuuden olevan sähköajoneuvomurroksen alaisuudessa näilläkin hetkillä. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia tämän hetkistä kuluttajien saatavilla olevaa sähköajoneuvojen teknologiaa ja tutustua niiden mitoitusperusteisiin sekä lainsäädäntöön. Työ vastaa kattavasti johdannossa asetettuihin tutkimusväitteisiin.

Mitoitusmenetelmät ovat riittäviä perustelemaan lainsäädännön vaatimustenmukaisuuksia. Työn tuloksena voidaan lyhyesti tiivistää, ettei tällä hetkellä kannata visioda liian pitkälle, ennen kuin Suomea isommat maat näyttävät mallia ja suuntaa. Toisaalta sama ei välttämättä toimi Suomessa, mikä toimii Kiinassa. Suomesta maansisäisesti saatavat sähkömuunnokseen vaadittavat osakokoonpanot jäävät tutkimuksesta pois. Voidaan olettaa, ettei kotimaisen teknologian käyttäminen muutoksessa maksaisi yhtä vähempää kuin Yhdysvaltojen myyntivälittäjän valikoimasta poimittu sattumanvarainen osien otanta antaa käsittää. Pitää muistaa myös, että Suomessa

maantieteellisesti haastavat ja välillisesti hyvin arktiset olosuhteet pitävän huolen ajoneuvokannan polttomoottorien suosiosta. Tulevaisuudessa parempi vaihtoehto lienevät protonikennot, ja tämä kaipaisi aiheeseen perehtyvää opinnäytetyötä ja opiskelua.

LÄHTEET

Asikainen, Tero 2017. Muunnossähköauto – Lataus ja BMS. Opinnäytetyö.
Joensuu: Karelia-ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201703143236>. Hakupäivä: 10.02.2018.

Battery Management system (BMS). 2018. Orion. Saatavissa:
<https://www.orionbms.com>. Hakupäivä 4.1.2018.

Canadian 1500W High Voltage Heater Element. 2018. EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=41&products_id=324&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Charging technology for E-Mobility. Product overview. 2018. Phoenix Contact E-Mobility GmbH. Saatavissa:
https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads_ed/global/web_dwl_promotion/52006703_EN_DE_E-Mobility_LoRes.pdf. Hakupäivä 4.1.2018.

Chrome Drier with Safety Switch. 2018. Sean Hyland Motorsport. Saatavissa:
<https://www.seanhylandmotorsport.com/Standard-Drier-With-Safety-Switch-4671>. Hakupäivä 21.01.2018.

Clipper Creek HCS-60 High Power 60 Amp EVSE for Tesla – Hard wired Version Made in Usa. 2018. EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=39&products_id=296. Hakupäivä 2.1.2018.

Conversion Vacuum Pump Kit (Ford A426C). 2018. EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=41&products_id=193&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Curtis 1239e-8521 HPEVS AC-35 Brushless AC Motor Kit - 144 Volt. 2018. EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=261. Hakupäivä 2.1.2018.

DC/DC Converter 400W 30A isolated 55-100 Volts, 72-144 Volts & 108-216 Volts. 2018. EV West. Saatavissa: <http://www.evwest.com/catalog/index.php?cPath=33&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3>. Hakupäivä 2.1.2018.

Dinger, Andreas – Martin, Ripley – Mosquet, Xavier – Rabl, Maximilian – Rizoulis, Dimitrios – Russo, Massimo – Sticher, Georg. 2010. Batteries for Electric Cars. Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020. Boston: The Boston Consulting Group.

Dooner, D. 2015. Hypoid Gears with Involute Teeth. Teoksessa 3/2015 Gear Technology. The Journal of Gear Manufacturing. S. 56-61.

Drawing Ford Mustang. 2018. Archigrafix. Saatavissa: <https://www.archigrafix.com/ford-mustang-gt.html>. Hakupäivä 21.01.2018.

Dual Siamese Warp 11 inch DC Motor Combo With Coupler. 2018. EV West. Saatavissa: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=213. Hakupäivä 2.1.2018.

Dynamometer Performance Chart Ecoboost. 2018. Stage 3 Motorsport. Saatavissa: <http://www.stage3motorsports.com/assets/images/Project%20Cars/2015%20Mustang%20EcoBoost/Jan%209th%202015%20Dynos/2015%20Mustang%20Project%20Car%20Baseline%20Dyno%2000.jpg>. Hakupäivä 21.01.2018.

Electric Air Conditioning Compressor. 2018. Sean Hyland Motorsport. Saatavissa: <https://www.seanhylandmotorsport.com/SHM-Electric-Air-Conditioning-Compressor-6613>. Hakupäivä 21.01.2018.

Electric Power Steering Unit for Electric Vehicles. 2018. EV West. Saatavissa: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=363. Hakupäivä 2.1.2018.

Enerdel MP320-049 24 kWh Battery Pack. 2018. EV West. Saatavissa: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=292&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Eskelinen, Aaron 2013. Kevytajoneuvon ajodynamiikka. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405147839>. Hakupäivä: 10.02.2018.

Ford SuperFlow Condenser Kit. 2018. Sean Hyland Motorsports. Saatavissa: <https://www.seanhylandmotorsport.com/32-Ford-SuperFlow-Condenser-Kit1>. Hakupäivä 21.01.2018.

Haataja, Mauri 2017. T331206 Autotekniikka 2 luentomonisteet. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma.

Hassinen, Tommi 2017. Selvitys ajoneuvon muuntamisesta sähkökäyttöiseksi. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201702232647>. Hakupäivä: 10.02.2018.

Hukka, Ari 2011. Sähköautokonversio eCorolla 2.0 – muutostyön dokumentointi. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, auto- ja korjaamotekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011060811511>. Hakupäivä: 10.02.2018.

IEA 2017. Global EV Outlook 2017. Two million and counting. France: International Energy Agency Publications.

Ilomäki, Janne 2018. VS: Lähtötietomuistio opinnäytetyöstä "Elektroninen Ajoneuvomuutos". Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: opinnäytetyöntekijä. 19.1.2018.

Ilomäki, Janne 2017. 5K00BJ23 Moottorilaboratorion mittaukset luentomateriaalit. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma.

Ilomäki, Janne 2014. T331005 Autotekniikan perusteet luentomateriaalit. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma.

ISO 16750-3. 2012. Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment — Part 1: General — Part 2: Electrical loads — Part 3: Mechanical loads.

IP-luokitusopas. Käytännön pikaopas IP-merkintöihin. 2018. Mitutoyo.

Saatavissa:

http://mitutoyo.fi/files/9514/2598/4177/Handbook_Ingress_Protection_FI.pdf.

Hakupäivä 1.1.2018.

Joachim, F. – Börner, J. – Kurz, N. 2011. How to Minimize Power Losses in Transmissions, Axles and Steering Systems. Saatavissa:

<https://www.geartechnology.com/issues/0912x/minimize-power-losses.pdf>.

Hakupäivä 1.1.2018.

Korva, Jani 2013. Ohjeistus N1G-luokan sähköautokonversion

muutostaksastukseen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa:

<http://www.oamk.fi/kirjasto/opinnaytteet/?id=926>. Hakupäivä: 10.02.2018.

Lamminaho, Matti 2015. eCelica-muunnossähköauto. Lataus- ja

lämmitysjärjestelmä sekä sähköinen viimeistely. Opinnäytetyö. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa:

<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505086944>. Hakupäivä: 10.02.2018.

L 15.1.2013/168. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 168 koskien kaksi-, kolmi- tai nelipyöräisiä ajoneuvoja.

L 30.6.2010/122. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus matkustamon lämmityksen tehon minimivaatimuksista.

L 9.7.2008/765. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus EY N:o 765/2008 koskien tyyppihyväksytyjen osien ja ajoneuvojen markkinavalvontaa.

L 11.12.2002/1090. Ajoneuvolaki ajoneuvon vaatimustenmukaisuuksien osoittamisesta liikennekelpoiseksi.

L 23.8.1996/100. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission säädös sähköajoneuvojen vaatimustenmukaisuudesta

Lehtonen, Arto 2015. T330104 Auton sähkövarusteet Ansvar SFS6002 koulutusmateriaali. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma.

Lm 3.4.2009/226. Lakimuutos katsastuksen liikenneturvallisuusedellytyksistä, ajokiellosta, vaatimustenmukaisuudesta ja vastaavuudesta, markkinavalvonnasta.

Lm 30.12.2015/1609. Lakimuutos tyyppihyväksyntävelvollisuus uuden ja ensikertaa käyttöön otettavan ajoneuvon tapauksessa.

Lm 18.12.2014/1291. Lakimuutos sähköajoneuvolle esitettävät tyyppihyväksyntävaatimukset Valtioneuvoksen asetuksen liitteessä 2.

Lm 12.12.2014/1042. Lakimuutos joka määrittää muutoskatsastuksen edellyttämän laajuuden.

Lm 8.12.2014/1270. Lakimuutos valtioneuvoston asetus ajoneuvojen rakenteen muuttamisesta.

Lm 12.8.2013/100. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission lisäys säädökseen 23.8.1996/100 sähköajoneuvojen vaatimustenmukaisuudesta.

Lm 5.4.2013/252. Lakimuutos valtioneuvoston liite 1 koskien ajoneuvojen järjestelmien muuttamista ja tyyppihyväksyntävaatimuksia.

Lm 20.5.2010/421. Lakimuutos ajoneuvon väliaikaisesta käytöstä tieliikenteessä.

Lm 2.3.2007/276. Lakimuutos joka käsitteellistää Suomen Poliisin tienvarsivalvonnan ja tarkastuksesta tehtävän raportin.

Lm 2.3.2007/233. Lakimuutos joka määrittää rekisteröinnin ja katsastuksen asiansyhteyden.

Lm 2006/552. Liikenne- ja viestintäministeriön lakimuutos L:iin 23.10.1998/779 moottorin muuttamista koskien.

Li, M. 2017. Li-ion dynamics and state of charge estimation. Teoksessa Kalogi-rou, S. (toim.) Renewable Energy – An International Journal. California: California State Polytechnic University. S. 44-52.

Li, G. – Lu, X. – Kim, J. – Meinhardt, K. – Chang, H. – Canfield, N. – Sprengle, V. 2016. Advanced intermediate temperature sodium-nickel chloride batteries with ultra-high energy density. Richland: Pacific Northwest National Laboratory.

Manzanita Micro P3 EVZE Level 2 Charging Station. 2018. EV West.

Saatavissa:

http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=39&products_id=201.

Hakupäivä 2.1.2018.

Miller, J. 2004. Propulsion systems for hybrid vehicles. London: The Institution of Electrical Engineering United Kingdom.

Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2014. Tammertekniikka. Tekniikan kaavasto. Matematiikan, fyysikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

MacDougall, William 2016. Electromobility in Germany: Vision 2020 and Beyond. Berlin: Germany Trade & Invest.

McDonald, David – Marie, Sault 2012. Electric Vehicle Simulation with MATLAB/Simulink. Saatavissa: <https://computoolable.nl/AuM4.pdf>. Hakupäivä 4.1.2018.

Moawad, Ayman – Rousseau, Aymeric 2012. Impact of Electric Drive Vehicle Technologies on Fuel Efficiency. Argonne, IL: Argonne National Laboratory.

Narayan, S. – Prakash, S. 2011. Batteries and Fuel Cell Research. The USC Power Research Workshop, Loker Hydrocarbon Research Institute. California: University of Southern California.

NetGain WarpDrive Industrial Controller. 2018. EV West. Saatavissa: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=1&products_id=174&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Niskanen, Perttu 2016. T331106 Autotekniikka 1 luentomateriaalit. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma.

Oil-Cooled Curtis 1239-8501 Dual HPEVS AC-35 Brushless AC Motor Kit - 144 Volt Marine Motor. 2018. EV West. Saatavissa: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=384. Hakupäivä 2.1.2018.

Ostosähkön päästökerroin. 2017. Tilastokeskus. Saatavissa: <https://www.stat.fi/>. Hakupäivä 26.11.2017.

Peng, Q. – Du, Q. 2016. Progress in Heat Pump Air Conditioning Systems for Electric Vehicles –A Review. Guangzhou: School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology.

Qin, N. 2016. Electric Vehicle Architectures. Electric Vehicle Transportation Center. Saatavissa: http://evsummit.org/speakers/presentations/2016/Workshop_Powertrain_Qin.pdf. Hakupäivä 1.1.2018.

Rinehart PM150DX/DZ 150kW AC-motor Controller. 2018. EV West. Saatavissa: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=1&products_id=262&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Rinehart PM100DX/DZ 100kW AC-motor Controller. 2018. EV West. Saatavissa: http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=1&products_id=262&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Self Study Programme 820233. 2013. Basics of Electricity Vehicles. Design and Function. Volkswagen Academy. Saatavissa:

[http://www.natef.org/NATEF/media/NATEFMedia/VW%20Files/820233-Electric-Drives-7_9_2013_sm-\(2\).pdf](http://www.natef.org/NATEF/media/NATEFMedia/VW%20Files/820233-Electric-Drives-7_9_2013_sm-(2).pdf). Hakupäivä 2.1.2018.

Siemens Versicharge Gen 2 EVSE level 2 Charging Station 30 Amps – Nema 6-50 – 20ft Cord – VC30GRYU. 2018. EV West. Saatavissa:

http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=39&products_id=330. Hakupäivä 2.1.2018.

Slowik, P. – Pavlenko, N. – Lutsey, N. 2016. Assesment of Next-Generation Electric Vehicle Technologies. Washington: The International Council On Clean Transportation.

Suomi, Ulla 2012. Yhteenvetojen CO₂ -päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂ -päästökertoimet 12/2012. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/10239/CO2-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf. Hakupäivä 26.11.2017.

Sähkötöiden tekeminen ja luvanvaraisuus. 2018. Tukes. Saatavissa:

<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkoalan-vastuuhenkilot-ja-urakointi/Sahkotoiden-tekeminen/>. Hakupäivä 19.01.2018.

Tesla Model S Drive Unit - Complete - Ready to RunEV West. 2018a. EV West. Saatavissa:

http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=476. Hakupäivä 2.1.2018.

Tesla Model S Lithium Ion Battery 18650 EV Module. 2018b. EV West.

Saatavissa:

http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=463&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Tesla Smart Lithium Ion Battery 18650 EV Module 57 Volt, 3 kWh. 2018. EV West. Saatavissa:

http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=329&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Täyssähköauto – Uusi e-Golf. 2018. Volkswagen. Saatavissa:
<https://www.volkswagen.fi/fi/sahkoautot.html>. Hakupäivä 2.8.2018.

Upgrade GEN IV 3 Know ProLine Oval Panel. 2018. Sean Hyland Motorsport.
Saatavissa: <https://www.seanhylandmotorsport.com/Upgrade-Gen-IV-3-Lever--ProLine-Rectangular-Panel>. Hakupäivä 21.01.2018.

USA Mustang Technical Specifications. 2015. Ford. Saatavissa:
https://media.ford.com/content/dam/fordmedia/North%20America/US/2015_Specs/2015_Mustang_Specs.pdf. Hakupäivä 21.01.2018.

Warp 11 DC Motor. 2018. EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=84.
Hakupäivä 2.1.2018.

Wilson, Lindsay. 2013. Shades of Green: Electric Cars' Carbon Emissions Around the Globe. London: Shrink That Footprint.

Vintage Airg -Gen IV Magnum – Heat, Cool & Defrost. 2018. Sean Hyland Motorsport. Saatavissa: <https://www.seanhylandmotorsport.com/12V-AC/Air-conditioning-systems/gen-iv-magnum>. Hakupäivä 21.01.2018.

Voltronix 260 Ah Lithium Iron Phosphate Battery. 2018. EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=265&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Young, K. – Wang, C. – Wang, L. – Strunz, K. 2013. Electric Vehicle Battery Technologies. Teoksessa Garcia-Valle, R. – Lopes, P. (toim.) Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks, Power Electronics and Power Systems. New York: Springer Science + Business Media. S. 15–56.

Zeraoulia, M – Benbouzid, M. – Diallo, D. 2005. Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study. Brest: University of Western Brittany.

ZEVA MC1000C DC Motor Controller 1000 Amps. 2018. EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=1&products_id=450&osCsid=khq0ev0368kf4eup0r786rvdk3. Hakupäivä 2.1.2018.

Zytek 55kW Electric Motor and Controller from Electric Smart Car - 300V. 2018.
EV West. Saatavissa:
http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=364.
Hakupäivä 2.1.2018.